



2025 | 16-20
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1445

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

Organiza





Integración de la ecohidrología con procesos participativos y actores del territorio para co-diseñar una gestión multifuncional de adicionalidad de servicios ecosistémicos a escala municipal.

PÉREZ ROMERO J. (1), LIDÓN CEREZUELA A. (1), LULL NOGUERA C. (1), HERMOSO DE MENA J. (2), AIT-EL-MOKHTAR M. (3), HASSAN A. (4), ROGGERO P.P. (4), MISSAOUI S. (5), KALLAS Z. (5), DEL CAMPO GARCÍA A (1).

1. ETSI Agronómica y del Medio Natural. Dep. Ing. Hidráulica y Medio Ambiente. Re-ForeST. Universitat Politècnica de Valencia (jperrom@upv.es).
 2. Generalitat Valenciana.
 3. Department of Biology, Université Hassan II de Casablanca, Marruecos.
 4. Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Sassari, Italia.
 5. Centro de Investigación en Economía y Desarrollo Agroalimentario (CREDA). **Resumen** Los ecosistemas forestales presentan potencialidades y necesidades de gestión particulares, que en ocasiones pasan desapercibidas para la sociedad. Es por esto, que la creación de laboratorios vivientes (Living-Labs) que integren la participación de actores locales con información y herramientas que simulen procesos ecohidrológicos a escala local-comarcal es una combinación muy indicada para una gestión adaptativa y resiliente del territorio en su sentido socio-ecológico. En este estudio se crearon Living-Labs integrando (1) información proveniente de parcelas experimentales que monitorean el estado ecohidrológico del bosque, (2) simulación espacial mediante modelos de procesos de los servicios ecosistémicos (SE), permitiendo ver su estado actual y potencial según la gestión forestal y (3) la discusión de los mismos en talleres con stakeholders para priorizar qué SE interesan y su margen de mejora con propuestas de gestión co-diseñadas para cada SE. Finalmente, por medio del sistema de soporte a la decisión CAFE, se optimizaron las acciones de gestión propuestas, configurando un plan de gestión multifuncional de hasta 5 SE priorizados. Se obtiene la adicionalidad de cada SE en las diferentes soluciones generadas por CAFE (todas dentro del frente de Pareto), y se pone a disposición de los actores para la toma de decisiones. **Palabras clave** Living Lab, cuantificación, simulación, selvicultura ecohidrológica, DSS CAFE
-
1. **Introducción** Los efectos actuales del cambio climático influyen significativamente en variables climáticas fundamentales como la temperatura, la precipitación y otros componentes del ciclo del agua y la energía que ponen en el punto de mira la estabilidad de los ecosistemas forestales (Lindner et al., 2014; Serrano-Notivoli et al., 2018). Sin embargo, trasladar estos cambios al impacto sobre la estructura y las funciones de los ecosistemas forestales no es sencillo (LINDNER ET AL., 2014). Además de los impactos ambientales, los cambios en los regímenes de perturbación (principalmente incendios forestales y sequías) documentados para los bosques europeos (Moriondo et al., 2006; Bedia et al., 2013; Seidl et al.,



2016) pueden tener consecuencias para la resiliencia de los bosques (Doblas-Miranda et al., 2017), lo que subraya que el cambio climático puede considerarse el desafío más importante para los bosques mediterráneos y plantea la necesidad de realizar un gestión forestal adaptativa y que sea anclada al territorio. Muchos gobiernos e instituciones ya han comenzado a desarrollar estrategias de gestión forestal adaptativa (GFA) para preservar o mejorar los servicios ecosistémicos forestales en el contexto del cambio climático (por ejemplo, el Servicio Forestal de los EE. UU., 2008-2010). Marcando como objetivo, adaptar los bosques a las nuevas condiciones ambientales o, específicamente, mejorar su resiliencia ante los cambios en los regímenes de perturbación (Seidl et al., 2016). La naturaleza y la magnitud de los impactos observados y/o proyectados sobre diferentes tipos de bosques pueden variar, requiriendo el desarrollo de estrategias locales de gestión adaptativa. Esto ha dado lugar a conceptos contrastantes como la silvicultura adaptativa reactiva frente a la proactiva (Lindner et al., 2014) o anticipar y mitigar riesgos frente a promover la resiliencia forestal (Seidl et al., 2016). Estos términos corresponden a los extremos de un continuo que va desde daños mínimos o inexistentes en los bosques hasta impactos muy graves, como la muerte regresiva del dosel y la mortalidad de árboles en cientos de hectáreas (Allen et al., 2010). Dentro del marco de estrategias de GFA adoptadas por Millar et al., (2007) y Nagel et al., (2017), este continuo está representado por varias estrategias silvícolas, según la magnitud de los impactos esperados y los cambios en la estructura y función de un bosque específico: a) Tratamientos de resistencia (acciones que mejoran la defensa de los bosques contra cambios y perturbaciones); b) Tratamientos de resiliencia (permiten cierto grado de cambio, pero también el retorno a condiciones previas o de referencia tras la perturbación); c) Tratamientos de transición (acciones que acomodan y facilitan intencionadamente el cambio a nuevas condiciones); d) Sin tratamientos (las respuestas intrínsecas de los ecosistemas forestales no gestionados prevalecen sobre la GFA). En cualquier caso, la velocidad de los cambios y su combinación con problemas socioecológicos que sufren todos los territorios requiere desarrollar vínculos entre la ciencia y el conocimiento local para implementar la GFA necesaria para el territorio (Nagel et al., 2017), promoviendo la llamada "ciencia translacional" (Jackson et al., 2017). En este contexto, las características del enfoque de Living Labs (ecosistemas de innovación abierta que operan en entornos reales como intermediarios entre ciudadanos, organizaciones de investigación, empresas y gobiernos, utilizando procesos iterativos de retroalimentación para crear un impacto sostenible) pueden allanar el camino para adoptar soluciones aceptables para todas las partes. Combinando la experiencia local y las necesidades reales del territorio forestal a el uso de modelos que ayuden a cuantificar y reproducir los cambios en los servicios ecosistémicos al realizar gestión forestal multifuncional.

2. **Objetivos** El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una metodología que permita co-diseñar una gestión multifuncional de los ecosistemas forestales de baja productividad con actores locales "Stakeholders" del territorio. Utilizando modelación eco-hidrológica que permita reproducir los procesos que ocurren en estos ecosistemas, para cuantificar los servicios ecosistémicos y mostrar cómo pueden mantenerse,

mejorarse o recuperarse con la gestión forestal. Para alcanzar este objetivo principal, se va a necesitar lograr otros secundarios como son: 1) definir los actores implicados en el diseño, 2) desarrollar talleres grupales para alcanzar propuestas de gestión sobre los servicios ecosistémicos de interés y 3) utilizar simulación eco-hidrológica que permita implementar la gestión forestal para cuantificar la situación actual de los servicios ecosistémicos y su adición de los escenarios de gestión.

3. **Metodología** El desarrollo de esta metodología se lleva a cabo dentro del marco conceptual del proyecto SALAM-MED (Sustainable Approaches to Land and water Management in Mediterranean Drylands). Un proyecto financiado por el programa PRIMA 2021, compuesto por un equipo multidisciplinar de 15 socios de 8 países del Mediterráneo. Teniendo como objetivo co-diseñar soluciones basadas en la naturaleza (NBS) de gestión para mejorar los servicios ecosistémicos de los sistemas socio-ecológicos de las tierras áridas del mediterráneo. Esto se llevará a cabo en 6 localizaciones distintas, que conformarán cada una un laboratorio viviente o Living Lab (LL), entendiendo por una región física en las partes interesadas se unen para colaborar en la co-crear o co-diseñar (Leminen et al., 2012). La metodología propuesta en este trabajo se va a desarrollar en 4 LLs de carácter forestal (España (2), Marruecos (1) e Italia (1)).

- a. **Áreas de estudios** La zona de estudio de este trabajo cubre 4 localizaciones en 3 países, España, Marruecos e Italia. Estas áreas de estudio conforman cada una un LL (Figura 1). Además, en cada una, hay presentes parcelas experimentales de monitoreo eco-hidrológico que permiten que esta información local, anclada al territorio.

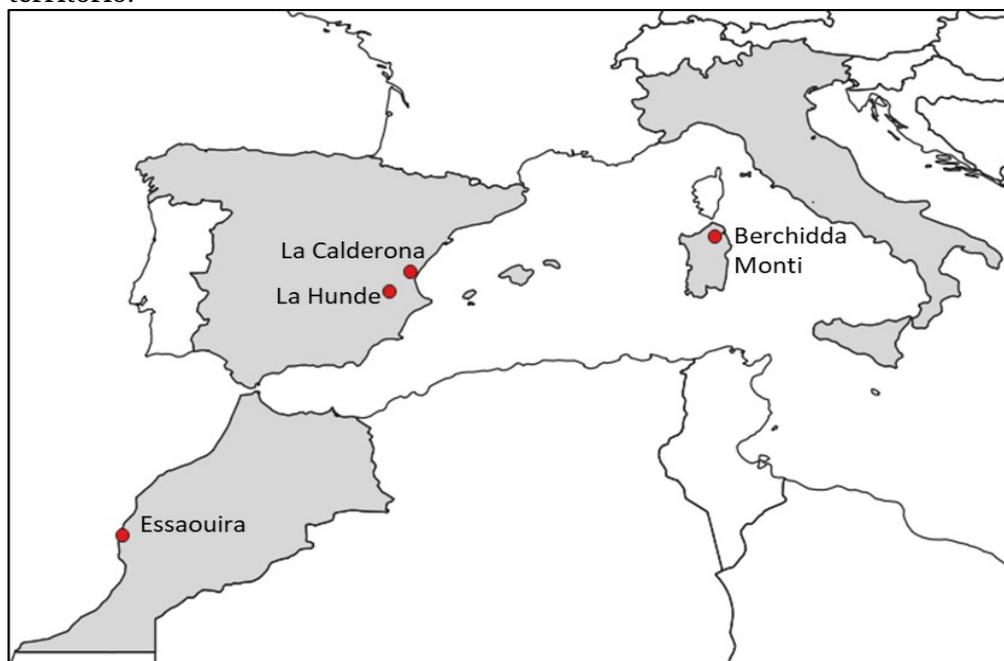
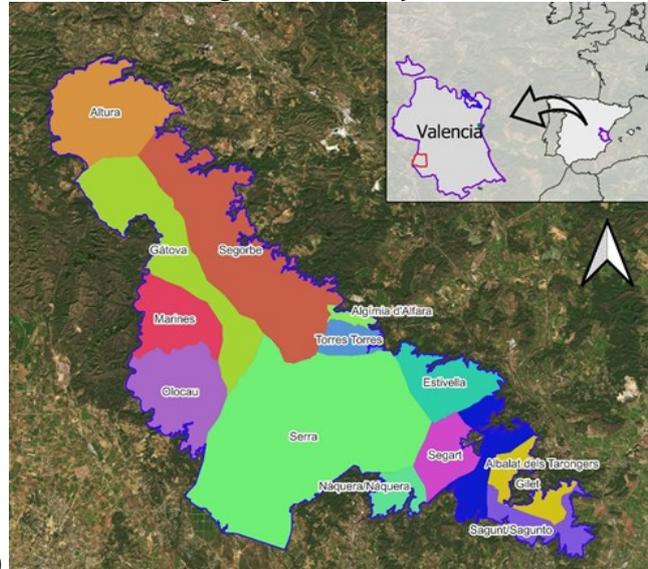


Figura 1. Localización de cada laboratorio viviente donde se va a realizar la metodología de co-diseño de gestión forestal con actores del territorio local. **La Calderona (Valencia, España)** El LL "La Calderona" abarca el Parque Natural de la Sierra Calderona, una zona protegida de 18,000 hectáreas situada a 30 km de Valencia, compuesta por 14 municipios, destacando Serra, Segorbe y Gátova. Su clima presenta veranos cálidos (25-28°C en agosto) e inviernos

fríos (3-13°C en enero), con precipitaciones anuales de 450-500 mm, mayoritariamente en otoño. Geológicamente, alterna materiales silíceos y calcáreos con alturas de 155 a 898 m, generando acuíferos y formaciones como cuevas. La vegetación incluye pinares de pino carrasco (38%) y zonas no forestales (54%), junto a cultivos de secano e irrigados (cítricos en el sur). La parcela experimental se puede revisar en los siguientes trabajos científicos (del Campo et al.,



2017). **Figura 2.**

Delimitación territorial del espacio considerado Living Lab "La Calderona". La Hunde (Valencia, España) El LL "La Hunde" se ubica en el interior de Valencia, limitando con Albacete, e incluye los municipios de Ayora, Jarafuel y Zarra, siendo Ayora el de mayor extensión (50%). El territorio, dividido equitativamente entre propiedad pública y privada, presenta un clima mediterráneo continentalizado, con inviernos fríos (mínimas bajo 0°C) y veranos cálidos (máximas de 30-32°C), y precipitaciones concentradas en primavera y otoño (400-500 mm anuales). Geográficamente, destaca por su topografía montañosa con altitudes entre 400 y 1200 m, predominando rocas sedimentarias como calizas y margas. Su vegetación incluye principalmente bosques de pino carrasco (57%) y áreas no forestales como pastos (35%), con mayor cobertura en terrenos públicos. La parcela experimental se puede revisar en los siguientes trabajos científicos (González-Sanchis et al., 2015).





Figura 3. Delimitación territorial del espacio considerado "La Hunde". **Essaouira (Essaouira, Marruecos)** El sitio de estudio, ubicado cerca de Essaouira, Marruecos, comprende tres áreas con distintos regímenes de manejo: una zona preservada destinada a la regeneración forestal, una no preservada sometida a pastoreo intensivo y otra moderadamente preservada, donde el pastoreo se restringe durante el período de fructificación. El área, de clima mediterráneo continentalizado y semiárido, recibe precipitaciones anuales irregulares de 400-500 mm, con un ecosistema dominado por *Argania spinosa* y matorrales. La parcela experimental se puede revisar en los siguientes trabajos científicos (Fassih et al., 2024).



Figura 4. Delimitación territorial del espacio considerado Living Lab "Essaouira". **Berchidda-Monti (Cerdeña, Italia)** El área de estudio está ubicada en el noroeste de Cerdeña, a una altitud de entre 275 y 320 metros sobre el nivel del mar, abarcando tres pequeñas cuencas hidrográficas con superficies entre 0,53 y 1,9 km², y una pendiente media del 7%. El clima es meso-mediterráneo, con una precipitación media anual de 632 mm, una temperatura media anual de 14,2 °C y un índice de aridez de 0,53. La vegetación y las prácticas de manejo son representativas de los sistemas agroforestales del Mediterráneo, predominando el alcornoque (*Quercus suber* L.), seguido por la encina (*Quercus ilex* L.), pastos arbolados y viñedos. La parcela experimental se puede revisar en los siguientes trabajos científicos (Seddaiu et al., 2018).

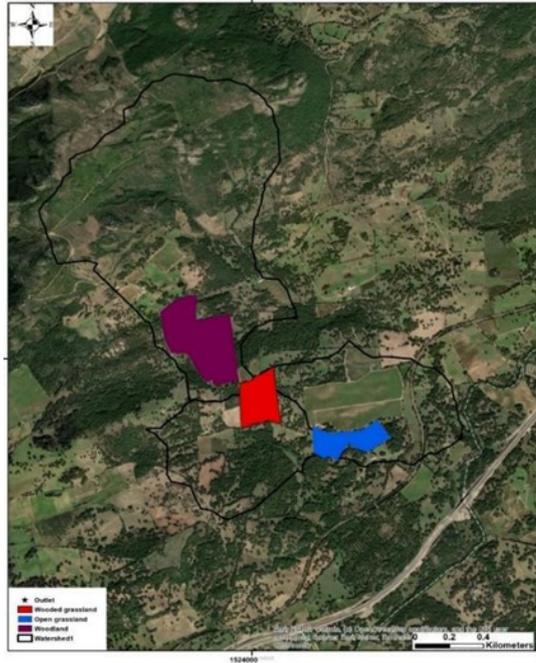


Figura 5. Delimitación territorial del espacio considerado Living Lab " Berchidda-Monti ".

- b. **Mapeo de actores del territorio** Este proceso se ha realizado en los 4 LL entre septiembre del 2022 y abril del 2023, realizándose durante este periodo 1) la identificación de los actores locales y grupos a los que pertenecen; 2) análisis y priorización de los actores para su selección y 3) Entrevista individuales semiestructuradas para contextualizar la situación de referencia de cada entorno. **Identificación de actores potenciales** Con la delimitación del territorio que define a cada LL, lo primero que se necesita llevar a cabo es buscar los actores implicados en estos sistemas para que formen parte de los procesos participativos que se van a realizar. Por tanto, el paso fundamental es la identificación preliminar de los actores clave y es importante tener en cuenta que los interesados deben asumir roles específicos durante su participación. Para la identificación de los interesados, se utiliza un cribado inicial de interesados como un enfoque descendente, ya que es menos demandante en términos de tiempo y recursos. Este enfoque inicial se basa en la revisión de literatura y estudios previos para recopilar datos sobre interesados potenciales relacionados con el proyecto. En un segundo paso, se utiliza un enfoque ascendente, a través de muestreo en bola de nieve, donde los investigadores solicitan a los interesados (de la lista previamente identificada) que nombren a otros interesados potenciales interesados en el proyecto (Bendtsen et al., 2021). Estas partes interesadas se agrupan en distintos tipos y grupos. Para asegurar una representatividad equilibrada de los distintos colectivos, los interesados identificados también deben clasificarse según las 4 dimensiones del sistema de innovación en hélice cuádruple: Gobierno, Ciudadanía, Academia e Industria. **Selección de principales (método AHP)** Tras la identificación de los interesados, se procede a analizar sus características y perfiles, considerando su nivel de interés e influencia hacia el desarrollo de

una gestión multifuncional de los ecosistemas agroforestales. Para ello, se evalúa: i) Capacidad (C): Evaluar la capacidad de recursos de cada parte interesada, teniendo en cuenta sus conocimientos, experiencia y capacidades técnicas. ii) Voluntad (V): Evaluar la disponibilidad y voluntad de participación de las partes interesadas. iii) Influencia (I): Evaluar el número y la calidad de las conexiones de las partes interesadas, que pueden influir en todas las partes implicadas; iv) Necesidad (N): Evaluar la necesidad de inclusión de las partes interesadas. Estos criterios se valoran mediante el método del Procesos de Jerarquía Analítica (AHP) (Saaty, 1980), el cual permite asignar pesos (P) “prioridades” a los criterios y facilitar la evaluación de los interesados. Este método se aplica para adaptar los criterios según la especificidad de cada región mediterránea, asegurando un equilibrio entre las cuatro dimensiones del sistema de innovación de la cuádruple hélice: Gobierno, Ciudadanía, Academia e Industria (Figura 6). Para aplicar el método AHP, los investigadores de cada LL deben evaluar estos criterios por pares de individuos. Posteriormente, el investigador debe señalar cuál de los dos es más relevante, empleando una escala de nueve puntos que cuantifique la intensidad de esta importancia de uno frente al otro. Este proceso se realiza en dos pasos diferentes, primero se realiza una comparación por grupos o tipos de actores y segundo, se compara dentro de cada tipo los actores que los componen. Para disponer de unos grupos homogéneos y reducidos donde se todos los participantes pudieran interactuar entre ellos, todos los LL finalmente se compusieron por un total de entre 12-16 actores. *Figura 6. Estructura jerárquica para priorizar los criterios de evaluación de las partes interesadas (método AHP).*

Entrevistas individuales Una vez priorizados los actores que formaran parte del proceso de participación del LL, se realiza de forma individual una entrevista semiestructurada. La cual, tiene un enfoque cualitativo en el que se utiliza un conjunto de preguntas o temas guía predefinidos, pero permite flexibilidad para explorar las respuestas y seguir las ideas o temas que surjan durante la conversación (Kallio et al., 2016). El objetivo de estas entrevistas es recoger la percepción individual que tienen los actores del territorio sobre la situación actual (escenario de referencia). Las preguntas que buscan definir la matriz DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y oportunidades) (Jun 2022-Nov 2022).

- c. **Talleres de participación** Conformado el grupo de actores participantes de cada LL, se procesan las entrevistas de forma grupal para evaluar y comprender las principales problemáticas que se perciben en estos ecosistemas agroforestales y las posibles soluciones de gestión. Se definieron 3 talleres grupales, de los cuales, solo se han realizado 2.
 - **Taller 1 - Selección de servicios ecosistémicos de interés y sus indicadores:** (Jun 2023- Jul 2024) En este taller se mostró primero la visión general que se tiene del territorio tras evaluar las entrevistas individuales; posteriormente se mostraron una lista de los servicios ecosistémicos principales que se pueden cuantificar; y por último, los indicadores



- propuestos para alcanzarlo de forma replicable y sencilla.
- **Taller 2 - Evaluar estado de los servicios ecosistémicos, priorización de gestión y definir opciones de gestión:** (Abr 2024 - Jul 2024) Se muestra a los participantes el estado de los SE que previamente seleccionaron de interés y con los indicadores indicados; Posteriormente, se le proponen que prioricen y orden por importancia aquellos más relevantes para definir los objetivos de gestión; Y por último, consensuar las actuaciones selvícolas que se proponen para mejorar los 4 SE principales.
 - **Taller 3 - Selección de alternativa de gestión y ver adicionalidad de los servicios ecosistémicos:** (Pendiente) Para concluir con la participación de los actores, se muestra las posibles soluciones que la herramienta CAFE ofrece con los objetivos de gestión propuestos de forma conjunta y con el co-diseño de las actuaciones de gestión definidas.
- 3.
- a. **Modelación de los servicios ecosistémicos** El uso de modelos basados en procesos para simular los flujos que suceden en los ecosistemas, son herramientas de gran ayuda para reproducir el estado del ecosistema, así como reflejar el efecto que puede tener una gestión sin la necesidad de tener que actuar y esperar años para ver su evolución. Además, permite integrar una gestión multifuncional de diversos objetivos (servicios ecosistémicos). Por esto, el uso de CAFE es un elemento clave para esta metodología. **DSS CAFE** (Carbono, Agua, Fuego y Eco-resiliencia) es una herramienta de Soporte a la Decisión para la gestión forestal multiobjetivo. Esta herramienta permite determinar diversas alternativas de gestión (actuaciones selvícolas) óptimas para gestionar múltiples servicios ecosistémicos. CAFE combina simulación eco-hidrológica de modelos basados en procesos para reproducir los ciclos y flujos del carbono y agua del ecosistema, con optimización multiobjetivo a partir de algoritmos evolutivos para determinar las acciones selvícolas adecuadas para mejorar los múltiples servicios ecosistémicos. Esta herramienta puede utilizarse en procesos de participación, ya que los tomadores de decisiones o gestores forestales pueden probar diversas configuraciones de criterios selvícolas. Y de esta forma, evaluar y seleccionar la mejor alternativa de gestión para mejorar la situación actual. La interfaz facilita la toma de decisiones de los gestores forestales, a la hora de realizar una planificación forestal en función de diversos objetivos (SE). Ya que, permite a los gestores decidir la solución más adecuada según la priorización de los servicios ecosistémicos que se pretendan optimizar por medio de la gestión. Además, proporciona la respuesta a las cuatro preguntas fundamentales de la gestión forestal: ¿Cuánto? (intensidad de la corta/plantación), ¿Dónde? (selección de rodales/parcela), ¿Cuándo? (frecuencia de clara) y ¿Cómo? (tipo de corta) (Pérez Romero et al., 2025)

CAFE, dispone de modelos de simulación ecohidrológica distribuidos (RHESsys y Tetis-Veg) y no distribuidos (Biome BGC MuSo). Dependiendo el caso y las necesidades puedes utilizarse uno u otro. En el caso de Calderona y Hunde se ha



utilizado RHESsys y en el caso de Essaouira y Berchidda–Monti se empleó Biome BGC MuSo. Esto se debe a que el componente espacial es más necesario y heterogéneo en los Living Lab españoles, mientras que el objetivo de gestión en Marruecos y Cerdeña espacialmente es homogéneo.

Situación actual de los servicios ecosistémicos

Tras la realización del primer taller, se definen los SE de interés para los actores del territorio. Estos son calculados por CAFE para cuantificarlos en la situación actual (referencia) de cada área de estudio, donde se simulan los procesos ecosistémicos de cada LL bajo las condiciones de gestión o no gestión que se encuentran.

Dado que la zona del LL es muy amplia, se ha acotado la superficie en cada área de estudio a nivel de monte. Para utilizar estos modelos basados en procesos, es necesario incluir diversos datos de entradas, de fisiografía, suelo, vegetación y clima. Además, de realizar una calibración y validación de los resultados simulados y observados que se disponen en los sitios experimentales. Para evaluar la generalidad y precisión de estos modelos en la simulación de los flujos de agua y carbono de los casos de demostración, se utilizaron 3 criterios estadísticos para comparar los valores simulados con los observados según trabajos similares de gestión forestal (Zierl et al., 2007; Zabalza-Martínez et al., 2018): 1) El índice de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), compara la varianza residual de los datos con la varianza de los datos medidos (ecuación 1); 2) El sesgo porcentual (PBIAS), mide la tendencia media de los datos simulados a ser mayores o menores que las series observadas (ecuación 2); 3) El error cuadrático medio (RMSE), se calcula como la diferencia total entre los valores simulados y los observados (ecuación 3).

(ecuación 1)

(ecuación 2)

(ecuación 3)

Incluir propuestas de gestión

Una vez realizado el segundo taller, cada LL procesa los datos recopilados para definir el co-diseño de la gestión propuesta. Estos criterios deben transformarse en las propuestas de gestión que contempla la DSS CAFE para poder lanzar la optimización de los SE priorizados por los participantes.

Por tanto, todas las estrategias de gestión que se pueden ver en la Figura 7, que los participantes van a completar y realizar para cada servicio ecosistémico de interés debe finalmente traducirse a las opciones de gestión que CAFÉ contempla que son: ¿Cuánto corto o planto? (intensidad de la corta/plantación), ¿Dónde clareo? (selección de rodales/parcela), ¿Cuándo repito el clareo? (frecuencia de clara) y ¿Cómo realizo el clareo? (tipo de corta, diferenciando entre estratos o no).

| Nivel de impacto estimado | | | | |
|---------------------------|----------|-------------|----------|--------------|
| Muy positivo | Positivo | Indiferente | Negativo | Muy negativo |
| ++ | + | 0 | - | -- |

| ESTRATEGIAS DE GESTIÓN | ELECCIÓN | IMPACTO |
|--|----------|---------|
| A. Tratamiento de mejora | | |
| A.1. Desbroces | | |
| A.2. Resalveo | | |
| A.3. Clareos y claras | | |
| B. Cortas de regeneración | | |
| B.1. Mantenimiento de la estructura actual (regular, semirregular o irregular) | | |
| B.2. Conversión de la estructura | | |
| C. Restauración forestal | | |
| C.1. Población/Repoblación | | |
| C.2. Núcleos de dispersión | | |
| D. Conservación-protección | | |
| D.1. Conservación estricta (no gestión) | | |
| D.2. Cortas sanitarias | | |
| E. Otras estrategias | | |
| E.1. Alargar los turnos y las edades de madurez | | |
| E.2. Reducir los turnos y los periodos de regeneración | | |
| E.3. Fomentar el paisaje en mosaico | | |
| E.4. Diversificar la estructura vertical de las masas forestales | | |
| E.5. Realizar actuaciones selectivas, dispersas y de pequeña extensión | | |
| E.6. Reserva de bosquetes con individuos extramaduros | | |
| E.7. Mejora de infraestructuras viarias | | |

Figura 7. Tabla de actuaciones selvícolas a elegir para gestionar cada servicio ecosistémico propuesto por los actores del territorio.

Adicionalidad de las propuestas de gestión.

Una vez finalizadas las simulaciones de CAFE con los parámetros de gestión definidos por los SH, se muestran los resultados en el tercer taller y deben seleccionar la solución más apropiada por todos para definir el plan de actuación selvícolas necesario para lograr la mejora de los SE.

Esta selección puede hacerse por muchos criterios y con el módulo de visualización interactiva los participantes van a poder ver las relaciones entre servicios ecosistémicos y escoger la solución que les compensa más.

4. **Resultados** Los resultados que se van a mostrar en este trabajo, pretenden dar como caso de ejemplo principal el LL “La Calderona”, para no extender demasiado la explicación y discusión que se pueda producir. La parte central que autores consideran fundamental para la comprensión de este trabajo es la metodología, ya que en ella se puede ver la cohesión entre las técnicas de cuantificación robustas y la participación de expertos locales en la toma de decisiones.
 - a. **Actores del territorio** Para analizar los grupos de interés identificados en la fase de mapeo de actores y obtener una composición del LL adecuada para el proceso de co-diseño que se



va a llevar a cabo, se asignó un peso a los cuatro criterios seleccionados - Capacidad (C), voluntad (V), influencia (I) y necesidad (N). Esto se realizó de forma independiente en cada LL y se puede ver como cada País da más peso a un criterio u otro (figura 8). En el caso de Cerdeña, se puede ver como su criterio principal es la capacidad y apenas dando importancia a la influencia. Mientras que el caso marroquí, se tiene un reparto similar entre otros criterios, la influencia y apenas dan importancia a la voluntad. Por último, en los dos casos españoles se les da la misma el mismo peso en los 4 criterios, siendo los principales la capacidad y la necesidad. La voluntad en los 4 sitios es de los criterios con importancia más bajas. *Figura 8. Criterios de pesos del método AHP de cada Living Lab.* En la Tabla 1 presenta la importancia de las partes interesadas, clasificadas por grupos-tipos y estudios de caso, lo que demuestra su pertinencia para los distintos sistemas. Al comparar las partes interesadas, resulta evidente que no todos los países cuentan con partes interesadas en todos los componentes de la cuádruple hélice. Además, los distintos componentes presentan diferentes grados de importancia, y la sociedad civil está notablemente infrarrepresentada en Itasomolia y Marruecos. Los resultados preliminares de la comparación de peso por grupo entre los países, muestra que, en el caso del LL Berchidda–Monti, el mundo académico esta infrarrepresentado. Además, la representación de ciudadanos solo refleja un 3%. Del mismo modo, en el caso del LL Essaouira tiene muy infrarrepresentado a los ciudadanos con solo un 1%. En lo que respecta a igualdad de representación potencial de los 4 grupos, en los LL españoles los repartos son más equitativos y todos tienen una importancia que se acerca al 20% siendo el grupo del gobierno el más importante alcanzando el 36%.

Tabla 1. Lista de grupos y tipos de actores locales que formaran parte del proceso de participación y su peso calculado con el método AHP en cada Living Lab.

| Grupo | Tipos | Parte interesada | La Calderona | La Hunde | Essaouira | Berchidda–Monti |
|------------------|--------------------------|------------------|--------------|----------|-----------|-----------------|
| Empresas | Productores | 18.79% | | | | 18.88% |
| | | | | 3.72% | | |
| Transformadores | | | 59.07% | | | |
| Compañías | | 4.23% | | 3.90% | | |
| | | | 10.41% | 9.60% | | |
| Consultorías | | | 7.80% | | | |
| Inversores | | | 0.99% | | | |
| Sector turístico | | | 0.76% | | | |
| Gobierno | Agencias e Instituciones | 6.62% | 6.10% | 70.86% | | 11.09% |



| | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|--------|-------|-------|
| Administración públicas | 13.23% | 12.20% | | 1.94% |
| | 18.87% | 17.40% | | 7.26% |
| Academia | Edición e Investigación | 4.66% | | 4.30% |
| | 9.44% | | 8.70% | |
| | 15.08% | 13.90% | | 2.56% |
| Ciudadanos | Consumidores | 4.66% | 4.30% | 1.14% |
| Colaboraciones | 9.44% | | | 8.70% |
| | 3.36% | 3.10% | | 1.47% |
| | | | 1.47% | |

Tabla 2. Matriz de DAFO, Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidad obtenidas de las entrevistas individuales a los actores del territorio en cada Living Lab.

MT 2: GOBERNANZA E INTEGRACIÓN SOCIAL



| Living Lab | Marruecos | Sierra Calderona | Ayora-La Hundo | Cerdeña |
|--|---|--|---|---|
| D E B I L I D A D E S | <ul style="list-style-type: none"> • Incumplimiento de pastoreo • Sobreexplotación • Vulnerabilidad climática • Desequilibrio de especies | <ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de gestión forestal • Faltade apoyo económico de la administración. • Exceso de combustible • Baja productividad • Vulnerabilidad climática • Construcción ilegal • Cultivos abandonados • Despoblación • Orografía • Mano de obra escasa • Falta de coordinación/normativa • Manejo cinegético deficiente • Sobrepoblación (fauna/personas) • Fragmentación de la propiedad • Restricciones de protección • Pérdida de cultivos/paisaje • Presión demográfica • Problemas de regeneración • Accesos deficientes • Riesgo de desertificación • Desconexión rural-urbano • Sobreprotección • Falta de relevo generacional | <ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de gestión forestal • Abandono de cultivos • Ausencia de explotación maderera • Baja productividad • Bosques sin multifunción • Colonización de pinos • Contaminación de acuiferos • Deforestación inadecuada • Despoblación • Gestión diferenciada (VLC/CCLM) • Falta de circulación de agua • Faltade apoyo económico de la administración. • Gestión cinegética deficiente • Aislamiento • Parcelas poco resilientes • Declive de fauna menor • Falta de vigilancia • Pérdida de paisaje • Baja diversidad • Dificultades de propiedad • Accesos deficientes • Reforestación pirofílica • Salarios bajos • Falta de información • Alta densidad de plantación • Negligencia administrativa • Falta de relevo generacional • Caza de trofeos • Falta de información regulatoria • Enfoque productivo cortoplacista • Desconexión rural-urbano • Especulación • Incumplimiento regulación micológica | <ul style="list-style-type: none"> • Escasez de agua • <i>Phytophthora</i> • Poca conciencia de interdependencias • Baja rentabilidad del corcho • Agricultura no remunerada • Falta de visión futura • Falta de conciencia hídrica • Capacidad adaptativa baja • Fragmentación de la tierra • Despoblación • Rotación generacional insuficiente |
| A M E N A Z A S | <ul style="list-style-type: none"> • Sequía prolongada • Conflictos locales • Degradación de suelos • Fragmentación de hábitats • Presión humana • Degradación del argán | <ul style="list-style-type: none"> • Lluvias torrenciales/erosión • Cambio climático • Erosión genética • Incendios forestales • Sobrepoblación forestal • Plagas • Presión urbana • Sequías • Gobernanza deficiente • Explotación maderera • Explotación no maderable | <ul style="list-style-type: none"> • Cambio climático • Erosión • Infraestructuras energéticas • Incendios forestales • Líneas de investigación • Subsidios inadecuados • Privatización • Riesgo de monopolio • Sobreprotección • Gobernanza urbana deficiente | <ul style="list-style-type: none"> • Cambio climático • Sequías e inundaciones • Aumento de temperatura invernal • Heladas tardías • Mayor propagación de patógenos • Riesgo de incendios • Pérdida de rentabilidad • Baja disposición a pagar • Dinámicas globales del mercado |
| F O R T A L E Z A S | <ul style="list-style-type: none"> • Aceite de argán • Comercio sostenible • Patrimonio cultural • Alta resiliencia • Expansión de productos • Prácticas sostenibles • Mejoras de instalaciones • Alianzas comunitarias | <ul style="list-style-type: none"> • Uso público accesible • Alto valor paisajístico • Recolección no maderable • Alta biodiversidad • Bosque conservado • Territorio habitado • Figuras de protección • Inversión municipal • Máquina de pellets • Masificación (proximidad urbana) • Oferta de ocio y turismo • Patrimonio cultural • Planificación de desarrollo • Poca ocupación antrópica • Recursos hídricos • Tejido económico • Ubicación valiosa • Cosecha de madera • Apoyo institucional • Fomento de ecoturismo • Educación ambiental • Manejo planificado • Regulación y tarifas • Conexión rural-urbano • Investigación | <ul style="list-style-type: none"> • Uso público accesible • Alto valor paisajístico • Explotación maderera • Recolección no maderable • Alta biodiversidad • Bosque conservado • Figuras de protección • Turismo ecológico • Actividades de ocio/deporte • Patrimonio cultural y natural • Propiedad de la tierra • Recursos hídricos • Sostenibilidad • Ubicación valiosa • Vigilancia de incendios • Apoyo financiero • Promoción de biodiversidad • Ecoturismo rural • Educación ambiental • Manejo planificado • Regulación y tarifas • Conexión rural-urbano • Investigación • Transición masiva • Mejora de resiliencia • Escasez de agua | <ul style="list-style-type: none"> • Amplios servicios ecosistémicos • Ganadería extensiva • Sector vitivinícola fuerte • Imagen/ventas positivas • Sistemas silvopastorales • Mosaico agro-silvopastoril • Agricultura multifuncional • Turismo agrario • Espacios de innovación • Valorización de lo pastoral • Formación de jóvenes • Capacitación e información • Relevancia de mujeres y jóvenes • Empresas privadas implicadas • Pago por servicios ecosistémicos • Cooperación en la cadena • Sinergias ganadería intensiva-extensiva |
| O P O R T U N I D A D E S | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de ingresos locales • Conservación de la biodiversidad • Control de la desertificación • Mejora de la alimentación animal • Impulso a la economía local • Fomento del conocimiento tradicional | <ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento maderero • Aprovechamiento no maderable • Fomento de la biodiversidad • Fomento del ecoturismo rural • Días de educación ambiental • Oferta de ocio, deporte y turismo • Planificación de manejo adecuada • Regulación y pagos por servicios ambientales • Superar la desconexión urbano-rural • Investigación | <ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento maderero • Aprovechamiento no maderable • Apoyo financiero • Fomento de la biodiversidad • Fomento de ecoturismo / turismo rural • Días de educación ambiental • Mejora de la resiliencia • Oferta de ocio y turismo • Planificación de manejo adecuada • Regulación y pagos por servicios ambientales • Superar la desconexión urbano-rural • Investigación • Transición masiva | <ul style="list-style-type: none"> • Mosaico agro-silvopastoral resiliente • Diversificación y multifunción • Turismo agrícola • Espacios de diálogo e innovación • Valorización de prácticas pastorales • Formación para jóvenes agricultores • Capacitación y sensibilización • Relevancia de mujeres y jóvenes • Empresas privadas comprometidas • Pago por servicios ecosistémicos • Cooperación en la cadena de valor • Sinergias ganaderas (intensiva-extensiva) |

En la Tabla 2 se pueden ver que en cada país (Marrueco, España, Cerdeña) las debilidades principales son: el sobrepastoreo, la necesidad de gestión y la escasez de agua; las debilidades son: sequías y cambio climático; las fortalezas son: aceite de argán y múltiples servicios ecosistémicos; y las oportunidades: Aumentos de ingresos al usar múltiples recursos forestales.

4.

a. Talleres

Dado que el resultado de los talleres es específico de cada LL por el contexto del territorio y las necesidades de gestión que se requieren, no se puede sintetizar toda esta información en un único apartado para que sea fácilmente entendible. Por este motivo, los resultados de los talleres solo serán del caso LL La Calderona.

En el primer taller, los actores del territorio participantes en el co-diseño, seleccionaron como servicios ecosistémicos de interés los que se reflejan en la Figura 9, siendo los más importantes: incendios, agua, biodiversidad, biomasa y paisaje. Además, en la Tabla 2, se puede ver los indicadores escogidos para cuantificar cada uno y su porcentaje de selección entre todos los participantes. Con este resultado, posteriormente se pudieron calcular la situación de referencia de estos servicios ecosistémicos.

Figura 9. Selección de los principales servicios ecosistémicos a cuantificar en el Living Lab (Taller 1).

Tabla 3. Selección de indicadores para cuantificar los servicios ecosistémicos y su importancia de elección (Taller 1).

| Servicio Ecosistémicos | Peso | Indicador |
|------------------------|------|---|
| Incendios | 67% | Modelo de combustible |
| Agua | 83% | Litros al acuífero |
| Biodiversidad | 92% | γ -Biodiversidad |
| Paisaje | 92% | Fragmentación del paisaje |
| Caza | 67% | Capacidad de carga |
| Madera/biomasa | 83% | Biomasa por especie (t) y superficie |
| Cambio Climático | 100% | Mortalidad especies vegetales |
| Aprov. no madereros | 83% | Diversidad de aprov. (api, setas, etc...) |
| Uso Público | 75% | Capacidad de carga visitantes |

En el segundo taller, se mostraron los valores de cada servicio ecosistémico con la modelación (como se podrá comprobar en el apartado siguiente), para evaluar el



margen de mejora que tienen dentro del territorio y poder priorizar la gestión que se quiere realizar acorde a los servicios ecosistémicos potenciales a gestionar. De esta forma, los servicios ecosistémicos hacia los que focalizar la gestión son incendios, biomasa, biodiversidad, uso público, agua y paisaje (Figura 10). Este ranking definitivo va a definir la gestión que propongan hacer dentro del territorio. Pudiéndose ver en la Tabla 3, las actuaciones selvícolas propuestas para cada uno de estos servicios ecosistémicos y su porcentaje propuesta, así como el computo global de hacer una gestión multifuncional de todos ellos en conjunto. Siendo las medidas principales selvícolas propuestas: desbroce, claras, conversiones a masas mixtas y fomentar el paisaje en mosaico.

Con la transformación de estas actuaciones e implementadas en la modelación, en el último taller se mostrarán las posibles soluciones de gestión multifuncional para mejorar los servicios ecosistémicos para que de forma consensuada se decanten por una y poder ver la adicionalidad que se genera. Esta última etapa falta por realizar y actualmente no se tiene realizado el taller.

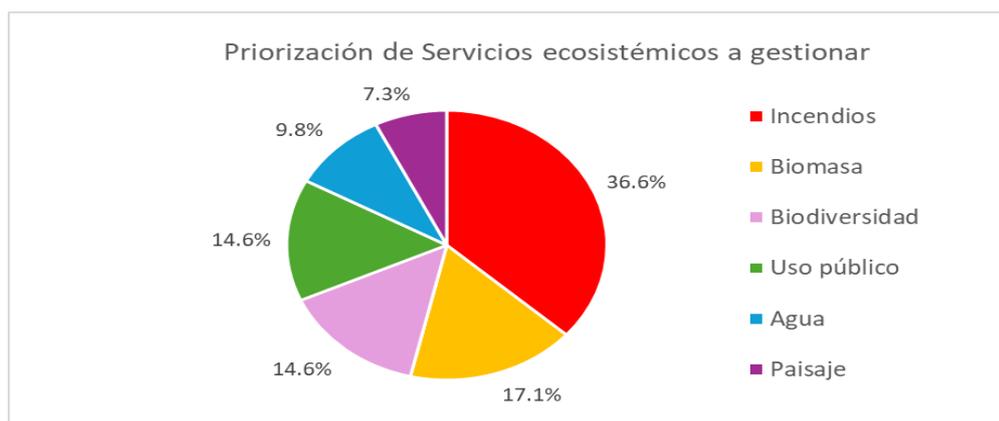


Figura 10. Priorización de los servicios ecosistémicos a gestionar dentro del Territorio del Living Lab La Calderona (Taller 2).

Tabla 4. Porcentaje promedio de selección de actuaciones selvícolas escogidas por los participantes para gestionar cada servicio ecosistémico en el Living Lab La Calderona (Taller 2).

| | Incendios | Biomasa | Biodiversidad | Uso Público | Agua | Paisaje |
|----------------------------------|-----------|---------|---------------|-------------|--------|---------|
| TRATAMIENTOS MEJORA | 40.74% | | | | | |
| | 100.00% | 50.00% | 16.67% | 33.33% | 50.00% | 50.00% |
| | 33.33% | 0.00% | 33.33% | 0.00% | 75.00% | 0.00% |
| | 50.00% | 100.00% | 33.33% | 33.33% | 75.00% | 0.00% |
| REGENERACIÓN DE LAS MASAS | 31.25% | | | | | |
| | 50.00% | 50.00% | 16.67% | 16.67% | 25.00% | 0.00% |
| | | | | | | 26.39% |



| | | | | | | |
|-------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 66.67% | 50.00% | 50.00% | 0.00% | 50.00% | 0.00% | 36.11% |
| RESTAURACIÓN FORESTAL | | | 14.58% | | | |
| 0.00% | 25.00% | 33.33% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 9.72% |
| 0.00% | 0.00% | 16.67% | 0.00% | 0.00% | 100.00% | 19.44% |
| CONSERVACIÓN-PROTECCIÓN | | | 1.39% | | | |
| 0.00% | 0.00% | 16.67% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 2.78% |
| 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| OTRAS ESTRATEGIAS | | | 23.02% | | | |
| 16.67% | 0.00% | 16.67% | 0.00% | 25.00% | 0.00% | 9.72% |
| 0.00% | 0.00% | 16.67% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 2.78% |
| 66.67% | 0.00% | 50.00% | 16.67% | 25.00% | 100.00% | 43.06% |
| 16.67% | 0.00% | 16.67% | 0.00% | 0.00% | 100.00% | 22.22% |
| 0.00% | 25.00% | 33.33% | 0.00% | 0.00% | 50.00% | 18.06% |
| 16.67% | 0.00% | 16.67% | 0.00% | 0.00% | 50.00% | 13.89% |
| 83.33% | 100.00% | 0.00% | 100.00% | 25.00% | 0.00% | 51.39% |

4.

- a. **Modelación** Antes de empezar con la simulación de los servicios ecosistémicos priorizados en el proceso participativo de los talleres con los modelos de simulación que integra CAFE, se evalúan los criterios estadísticos descritos anteriormente. Se compara la transpiración diaria observada frente a la simulada y la biomasa anual de la situación de referencia. Donde la eficiencia del modelo (NSE) es 0.95 y 0.58, la tendencia media (PBIAS) es -0.09 y 0.16 y el error cuadrático medio (RMSE) es 0.11 kgC-m-2 y 0.65 mm respectivamente. Mientras que en la Figura 11 se muestra la gráfica de transpiración diaria y la biomasa anual observadas y simuladas con RHESsys. Denotando que todos los criterios estadísticos obtuvieron muy buenos resultados en la comparación de los regímenes simulados y observados (McCuen et al., 2006). Por tanto, se considera que los datos simulados pueden considerarse veraces estadísticamente y que, a partir de ellos, se pueden calcular los servicios ecosistémicos de interés que se escogieron y priorizaron en los talles grupales.

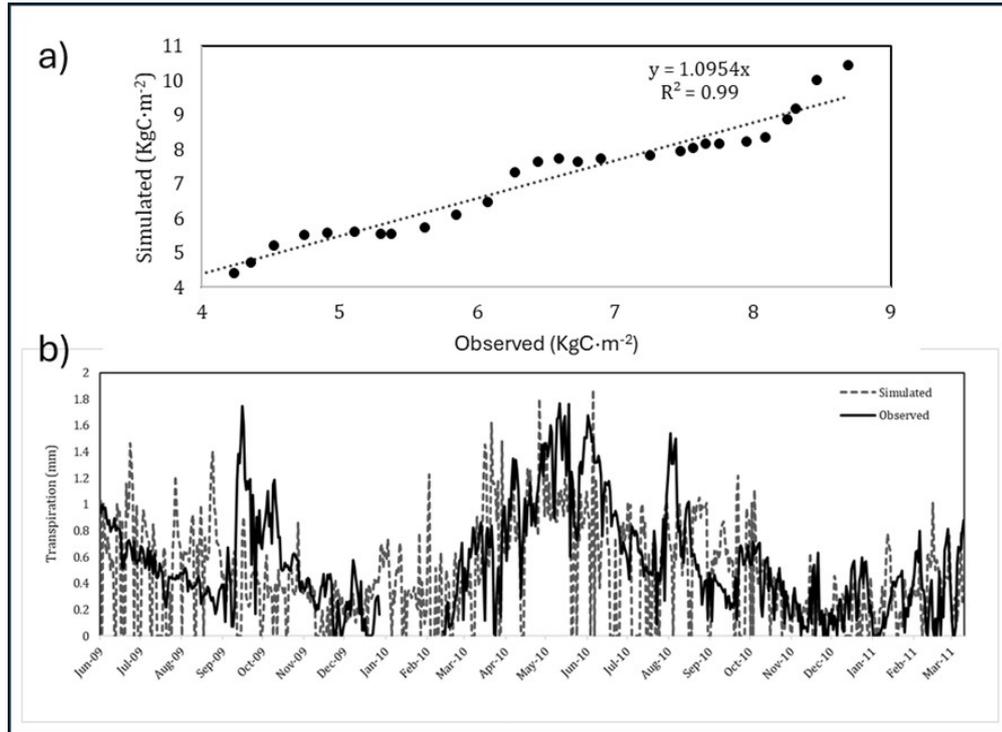


Figura 11. Comparación de datos observados y simulados con RHESsys. a) transpiración diaria del rodal de *Pinus halepensis*, b) biomasa anual del rodal de *Pinus halepensis*.

Una vez que el modelo de simulación tiene los datos calibrados y validados, se pueden incluir los datos de entrada que requiere el modelo RHESsys en CAFE para generar la simulación de la situación de referencia, donde la gestión que se aplica en el caso del territorio de la Calderona actualmente es la no actuación en cuanto a gestión selvícola. Otras actuaciones como es el caso de arreglos de pistas y mejoras de balsas no pueden incluirse en este modelo ya que no las contemplan estas actuaciones.

Teniendo configurado el caso de estudio en la interfaz de la herramienta, se simula y se obtienen el valor de los servicios ecosistémicos requeridos por los actores locales. Algunos servicios ecosistémicos no son incluidos en la herramienta CAFE, como es el caso del modelo de combustible y el índice de Shannon que se calculan externamente. El sistema de soporte a la decisión CAFE proporciona otros indicadores para el riesgo de incendios (KBDI) y biodiversidad estructural que explica la distribución de pies, hueco y materia muerta en el rodal.

Por tanto, la situación de referencia que se tiene en el territorio y en especial en la cuenca de simulación dentro del LL La Calderona (Figura 12) es para el modelo de combustible los modelos SH y TU que corresponden a matorral y zonas de pinar. Mientras que en percolación que dispone agua en profundidad para recarga de acuíferos un promedio de 45mm año, un índice de Shannon promedio de 7 y una biomasa aérea de 50-60T/ha.

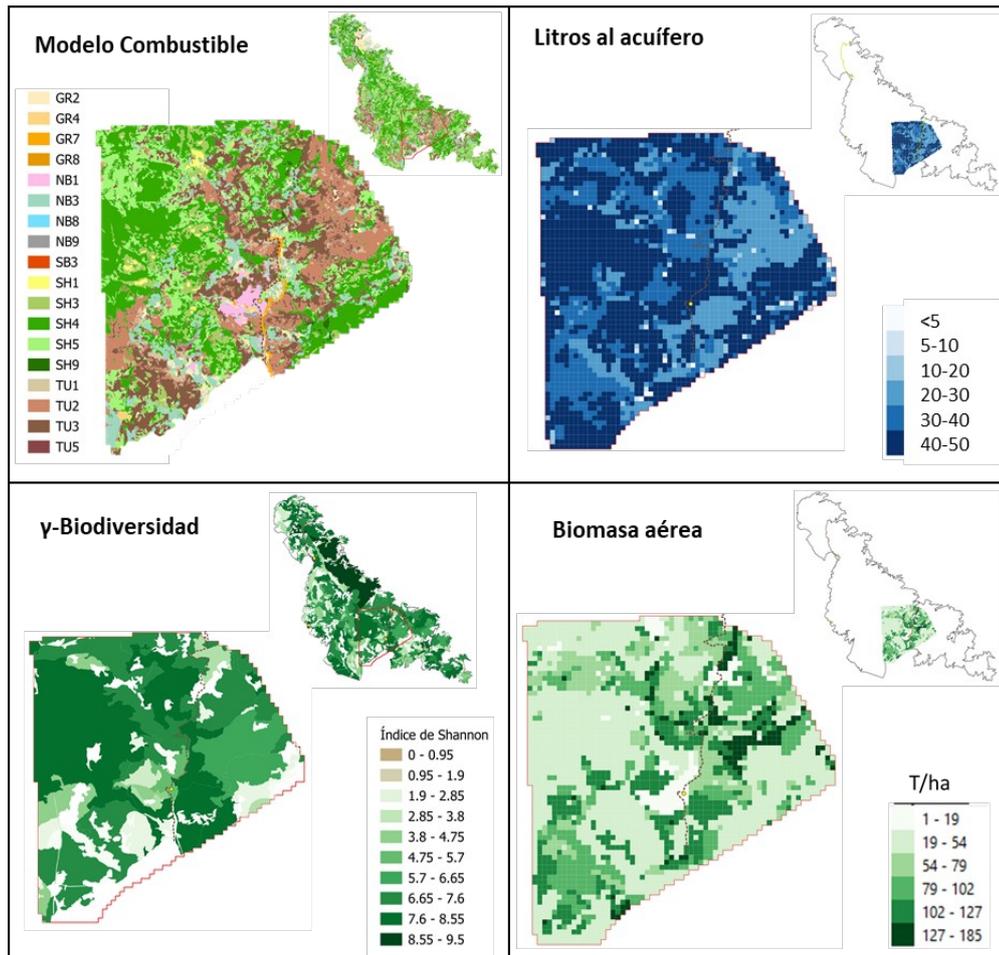


Figura 12. Situación de referencia de los servicios ecosistémicos del Living Lab La Calderona. Incendio- Modelo de combustible (Izq. superior), Agua-Litros al acuífero (Der. superior), Biodiversidad-Índice de Shannon (Izq. inferior) y Biomasa-Biomasa aérea (Der-inferior).

Como resultado complementario a la ejecución de CAFE, se proporciona unos datos promedios para un periodo de 30 años de simulación que corresponde a la cuenca de estudio donde se pueden ver además de los servicios de interés de los participantes otros que simplemente se cuantifican de forma complementaria.



| Servicio Ecosistémico | Valor promedio de la situación de referencia |
|---------------------------|--|
| Biomasa extraída | 0 kg/m2 |
| Carbono en suelo | 8.84 kg/m2 |
| Caudal | 0.0724 mm |
| Kdbi_mod | 7259.5142 adimensional |
| Biodiversidad estructural | 9.45 adimensional |
| Respiración del suelo | 97.3907 gC/m2 |
| Percolación | 46 mm/year |
| Resiliencia | 94.8916 adimensional |

Adaptar la gestión co-diseñada en el 2 taller para poder incluirla en el definida por los p

Optimization Solutions

| Biomass | Carbon | Respirati | SurfaceW | StreamFlw | Percolati | Kdbi | Biodiversi | Resilient | Improve | Operation | Solution |
|---------|--------|-----------|----------|-----------|-----------|--------|------------|-----------|---------|-----------|----------|
| 12.84 | 21.86 | 2.78 | 0 | 47.61 | 47.61 | 7232.8 | 14.02 | 1.02 | 236 | 4876.096 | 0 |
| 8.19 | 12.16 | 2.71 | 3.47 | 116.03 | 48.9 | 6150 | 14.57 | 0.96 | 239 | 5461.492 | 1 |
| 12.72 | 21.61 | 2.82 | 0 | 47.57 | 47.57 | 7168.7 | 9.45 | 1.01 | 276 | 2915.484 | 2 |
| 0.1 | 2.09 | 2.65 | 6.2 | 150.3 | 49.45 | 6060.3 | 12.46 | 1.01 | 234 | 6214.144 | 3 |
| 0.36 | 2.9 | 3.03 | 3.54 | 115.74 | 48.61 | 4910.5 | 12.15 | 0.96 | 314 | 4690.256 | 4 |
| 5.82 | 5.22 | 3.2 | 0.03 | 55.83 | 48.09 | 6872.6 | 12.91 | 1.08 | 314 | 3956.188 | 5 |
| 6.11 | 5.39 | 3.24 | 0 | 47.96 | 47.96 | 6931.3 | 12.91 | 1.06 | 311 | 3956.188 | 6 |

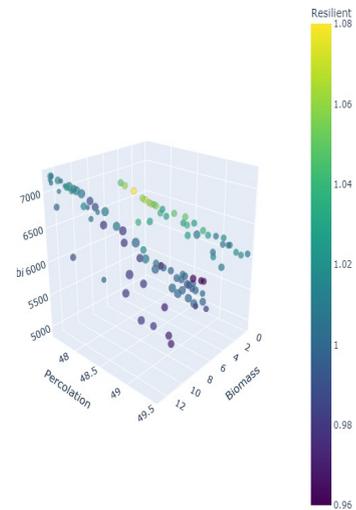
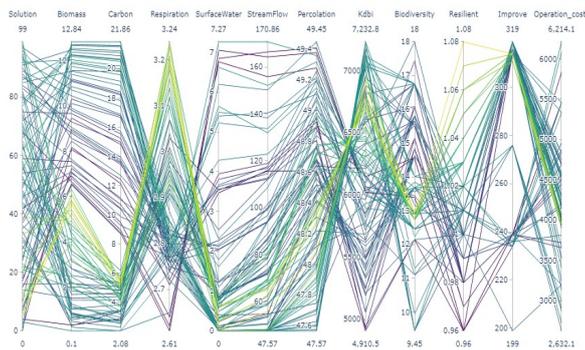


Figura 13. Propuestas de actuaciones multifuncionales calculadas por la DSS CAFE, según los criterios de gestión (actuaciones selvícolas) consensuados por los participantes como los objetivos (servicios ecosistémicos) a gestionar para conservar, mejorarlos o mantenerlos.

Para esta metodología falta mostrar estos resultados en el último taller y que los participantes seleccionen una solución para ver los parámetros de gestión que hay que realizar para obtener estos valores adicionales en cada servicio ecosistémico.

Si por ejemplo, escogemos la solución 1 como la adecuada, a la que todos los participantes hubieran estado de acuerdo, podemos ver en la Figura 14 que con el siguiente plan de gestión se puede lograr.

Thinning Distribution Map by year

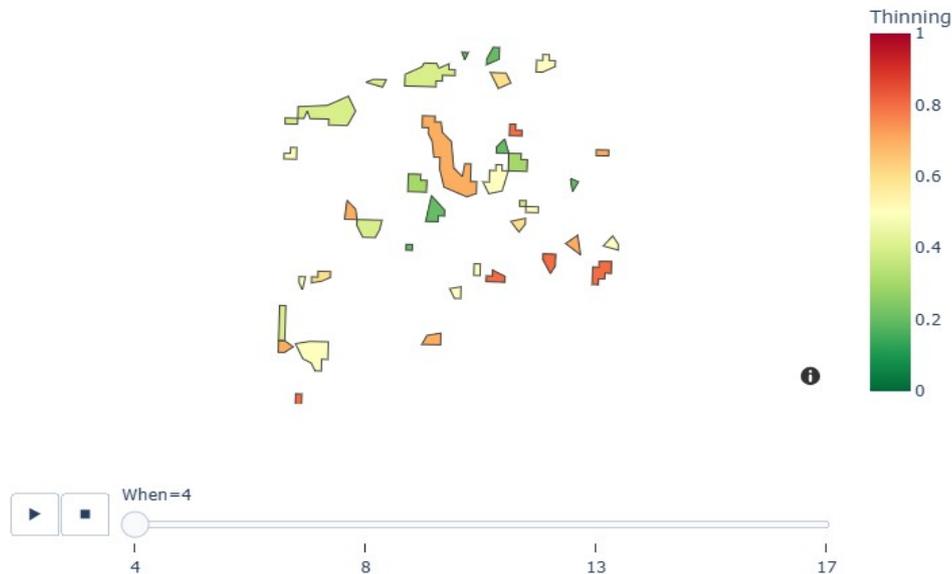


Figura 14. Mapa de distribución de claras de la solución 1. Es el resultado de la selección de una de las soluciones propuestas por CAFE para mejorar a la vez 4 servicios ecosistémicos, minimizando el riesgo de incendio y maximizando la extracción de biomasa, la percolación y la biodiversidad estructural.

5. Discusión

5.1. Actores locales participantes

Los participantes involucrados en el proceso del LL han mostrado que cada país da un peso diferente a unos criterios de selección de participantes (Figura 8). Esto coincide con otros trabajos que muestran que cada territorio necesita especificar estos criterios de forma independiente para adaptarla a sus necesidades (Bendtsen et al., 2021; Dastoli and Pontrandolfi, 2022). Revisando los tipos y grupos de actores involucrados se puede ver que en algunos de ellos en el caso de Marruecos y Cerdeña requieren incluir nuevos participantes, según aconsejan algunos trabajos como (Hujainah et al., 2018). La Calderona y la hunde, pese a tener los mismos pesos en los criterios para evaluar a las partes interesadas conforman finalmente una importancia diferente para cada tipo de rol, esto se debe a que este territorio tiene unas necesidades y unas problemáticas diferente como se ven en la Tabla 2. Dado que el proceso de LL es un proceso abierto y vivo se espera que, en el tiempo restante de proyecto, se vayan incluyendo nuevos participantes que tapen las carencias actuales, principalmente en los casos de Cerdeña y Marruecos con el grupo ciudadanos.

5.2. Talleres



Se han permitido realizar 2 de los 3 programados en los 4 LL. Solo se van a comentar los correspondientes al LL la Calderona. En el taller 1, los participantes pensaron que los recursos más necesarios en este territorio son el incendio, el agua, la biodiversidad o la biomasa. Mientras que, en el 2 taller, al disponer de información espacial para ver los servicios ecosistémicos escogidos en el territorio, pudieron priorizar y seleccionar definitivamente aquellos más interesantes para el territorio dado que tienen más margen de mejora. Esto coincide con trabajos que han ido priorizando servicios por fases (Boeraeve et al., 2018). Pese a esto, el peligro de incendio este se mantuvo como la necesidad de gestión prioritaria del territorio. Esto concuerda con el histórico de esta área sufrir severos incendios (GVA, 2023). En el caso del agua, pudieron comprobar que el territorio pese a su heterogeneidad tiene limitaciones de agua por mucho que cambiaran la vegetación presente, teniendo un margen de mejora reducido, como se puede comprobar en trabajos de del Campo et al., (2017). Mientras que el uso público que en un primer momento era el último pasó a ser relevante cuando vieron la potencialidad que tenía en este territorio por dadas las cercanías a la capital, Valencia.

Por este motivo, finalmente se cogieron acciones selvícolas que mejoraban estos servicios ecosistémicos, resaltando entre ellas las medidas de desbroce, clareo, conversión a Masas mixtas y fomentar el paisaje en mosaico. Con estas cuatro medidas se han incluido en propuestas de gestión de CAFE y todas las soluciones mejoran la situación de referencia. Ahora, solo falta realizar el último taller donde escogerán las propuestas de gestión definitiva que les proporciona CAFÉ y poder comprobar la adicionalidad real.

5.3. Modelación

La modelación de los servicios ecosistémicos seleccionados por los participantes locales, han sido previamente calibrados y validados, con un buen ajuste de la variable transpiración y biomasa a escala diaria. El modelo RHESsys se considera adecuado y ajustado al territorio para proporcionar valores de los servicios escogidos por los actores locales. En el primer caso, situación de referencia, se ha podido ver los valores de biomasa, percolación, biodiversidad y modelo de combustible del que parte el territorio (Figura 12). Seguido de esto la gestión que han propuesto los actores, las cuatro mencionadas ante, se han implementado en la herramienta CAFE, proporcionando diversas opciones (Figura 13), en las que, por medio de la gestión multifuncional, se puede mejorar los distintos servicios escogidos. De modo promedio en todas las soluciones se mejora la biomasa extraída inicial, ya que esta era nula se mejora la percolación en un cinco a 10 % y se reduce el riesgo de incendio, a la vez que la biodiversidad estructural también mejora todo esto se corrobora también con otros trabajos que confirman que con la gestión cambias estos valores referencia (Ma et al., 2022). Por último, se puede ver el mapa de actuación necesario (Figura 13) para lograr este objetivo coincide con el paisaje mosaico que pedían los actores y lo cual ayuda a mejorar el conjunto de servicios ecosistémicos, haciendo que sea mas resiliente a los incendios y generando más biodiversidad (Qiu et al., 2022).

6. **Conclusiones** El desarrollo de gestión forestal adaptativa que complementa usos de tecnologías de cuantificación robustas y procesos de participación que anclan al actuaciones al territorio ponen de manifiesto las diferentes necesidades de gestión y los distintos puntos de vistas que son necesarios respetar y mantener para co-diseñar de forma sostenible y conforme para todas las personas que viven en el territorio la gestión que necesitan los ecosistemas forestales. Pudiendo realizar una gestión multifuncional que



- mejora múltiples servicios ecosistémicos de interés.
7. **Agradecimientos** Los autores expresan su agradecimiento al proyecto SALAM-MED, financiado por el programa PRIMA 2021 de la UE (número de subvención: 2123; número CUP: J83C21000200006), por co-financiar el desarrollo de este estudio.
 8. **Bibliografía**
 6. AUTOR (APELLIDO, N.); AUTOR (APELLIDO, N.); Año. Título del artículo. *Abreviatura revista* Número Página Inicio – Página Final (Libre Franklin 10, autor en mayúsculas, título en minúscula) Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H. (Ted), Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.-H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management, Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate* 259, 660–684. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001> Bedia, J., Herrera, S., Martín, D.S., Koutsias, N., Gutiérrez, J.M., 2013. Robust projections of Fire Weather Index in the Mediterranean using statistical downscaling. *Climatic Change* 120, 229–247. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0787-3> Bendtsen, E.B., Clausen, L.P.W., Hansen, S.F., 2021. A review of the state-of-the-art for stakeholder analysis with regard to environmental management and regulation. *Journal of Environmental Management* 279, 111773. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111773> Boeraeve, F., Dufrene, M., De Vreese, R., Jacobs, S., Pipart, N., Turkelboom, F., Verheyden, W., Dendoncker, N., 2018. Participatory identification and selection of ecosystem services: building on field experiences. *Ecology and Society* 23. Dastoli, P.S., Pontrandolfi, P., 2022. Methods and Tools for a Participatory Local Development Strategy, in: Calabrò, F., Della Spina, L., Piñeira Mantiñán, M.J. (Eds.), *New Metropolitan Perspectives*. Springer International Publishing, Cham, pp. 2112–2121. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06825-6_203 del Campo, A.D., González-Sanchis, M., Lidón, A., García-Prats, A., Lull, C., Bautista, I., Ruíz-Pérez, G., Francés, F., 2017. Ecohydrological-Based Forest Management in Semi-arid Climate, in: Křeček, J., Haigh, M., Hofer, T., Kubin, E., Promper, C. (Eds.), *Ecosystem Services of Headwater Catchments*. Springer International Publishing, Cham, pp. 45–57. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57946-7_6 Doblas-Miranda, E., Alonso, R., Arnan, X., Bermejo, V., Brotons, L., de las Heras, J., Estiarte, M., Hódar, J.A., Llorens, P., Lloret, F., López-Serrano, F.R., Martínez-Vilalta, J., Moya, D., Peñuelas, J., Pino, J., Rodrigo, A., Roura-Pascual, N., Valladares, F., Vilà, M., Zamora, R., Retana, J., 2017. A review of the combination among global change factors in forests, shrublands and pastures of the Mediterranean Region: Beyond drought effects. *Global and Planetary Change* 148, 42–54. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.11.012> Fassih, B., Ait-El-Mokhtar, M., Nait Douch, A., Boutasknit, A., Ben-Laouane, R., Aganchich, B., Wahbi, S., 2024. Combined Effect of Subsurface Water Retention Technology and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth, Physiology and Biochemistry of Argan Seedlings under Field Conditions. *Plants* 13, 2098. <https://doi.org/10.3390/plants13152098> González-Sanchis, M. a, Del Campo, A.D., Molina, A.J., Fernandes, T. sio J.G., 2015. Modeling adaptive forest



management of a semi-arid Mediterranean Aleppo pine plantation. *Ecological Modelling* 308, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.04.002>GVA, 2023. Estadística de incendios forestales - Prevención de Incendios Forestales y Sensibilización - Generalitat Valenciana [WWW Document]. Prevención de Incendios Forestales y Sensibilización. URL <https://mediambient.gva.es/va/web/prevencion-de-incendios/estadistica-de-incendios-forestales> (accessed 1.19.25).Hujainah, F., Abu Bakar, R.B., Al-haimi, B., Abdulgaber, M.A., 2018. Stakeholder quantification and prioritisation research: A systematic literature review. *Information and Software Technology* 102, 85–99. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2018.05.008>Jackson, S.T., Garfin, G.M., Enquist, C.A., 2017. Toward an effective practice of translational ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 15, 540–540. <https://doi.org/10.1002/fee.1738>Kallio, H., Pietilä, A.-M., Johnson, M., Kangasniemi, M., 2016. Systematic methodological review: developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide. *Journal of Advanced Nursing* 72, 2954–2965. <https://doi.org/10.1111/jan.13031>Leminen, S., Westerlund, M., Nyström, A.-G., 2012. Living Labs as Open-Innovation Networks [WWW Document]. URL <http://www.theseus.fi/handle/10024/142280> (accessed 1.19.25).Lindner, M., Fitzgerald, J.B., Zimmermann, N.E., Reyer, C., Delzon, S., van der Maaten, E., Schelhaas, M.-J., Lasch, P., Eggers, J., van der Maaten-Theunissen, M., Suckow, F., Psomas, A., Poulter, B., Hanewinkel, M., 2014. Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management* 146, 69–83. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.030>Ma, S., Wang, H.-Y., Zhang, X., Wang, L.-J., Jiang, J., 2022. A nature-based solution in forest management to improve ecosystem services and mitigate their trade-offs. *Journal of Cleaner Production* 351, 131557. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131557>Millar, C.I., Stephenson, N.L., Stephens, S.L., 2007. Climate Change and Forests of the Future: Managing in the Face of Uncertainty. *Ecological Applications* 17, 2145–2151. <https://doi.org/10.1890/06-1715.1>Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, C., Corte-Real, J., 2006. Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Clim. Res.* 31, 85–95. <https://doi.org/10.3354/cr031085>Nagel, L.M., Palik, B.J., Battaglia, M.A., D'Amato, A.W., Guldin, J.M., Swanston, C.W., Janowiak, M.K., Powers, M.P., Joyce, L.A., Millar, C.I., Peterson, D.L., Ganio, L.M., Kirschbaum, C., Roske, M.R., 2017. Adaptive Silviculture for Climate Change: A National Experiment in Manager-Scientist Partnerships to Apply an Adaptation Framework. *Journal of Forestry* 115, 167–178. <https://doi.org/10.5849/jof.16-039>Pérez Romero, J., González-Sanchis, M., Blanco-Cano, L., Del Campo, A.D., 2025. Development of a Multi-Objective Decision Support System for eco-hydrological forest management that quantifies and optimizes ecosystem services related to Carbon, Water, Fire-risk and Eco-resilience (CAFE). JEMA.Qiu, J., Huang, T., Yu, D., 2022. Evaluation and optimization of ecosystem services under different land use scenarios in a semiarid landscape mosaic. *Ecological Indicators* 135, 108516. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108516>Saaty, T.L., 1980. The analytic



hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society* 41, 1073–1076. Seddaiu, G., Bagella, S., Pulina, A., Cappai, C., Salis, L., Rossetti, I., Lai, R., Roggero, P.P., 2018. Mediterranean cork oak wooded grasslands: synergies and trade-offs between plant diversity, pasture production and soil carbon. *Agroforest Syst* 92, 893–908. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0225-7> Seidl, R., Spies, T.A., Peterson, D.L., Stephens, S.L., Hicke, J.A., 2016. REVIEW: Searching for resilience: addressing the impacts of changing disturbance regimes on forest ecosystem services. *Journal of Applied Ecology* 53, 120–129. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12511> Serrano-Notivoli, R., Beguería, S., Saz, M.Á., de Luis, M., 2018. Recent trends reveal decreasing intensity of daily precipitation in Spain. *International Journal of Climatology* 38, 4211–4224. <https://doi.org/10.1002/joc.5562> Zabalza-Martínez, J., Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., Borràs Calvo, G., Savé, R., Pascual, D., Pla, E., Morán-Tejeda, E., Domínguez-Castro, F., Tague, C.L., 2018. The Influence of Climate and Land-Cover Scenarios on Dam Management Strategies in a High Water Pressure Catchment in Northeast Spain. *Water* 10, 1668. <https://doi.org/10.3390/w10111668> Zierl, B., Bugmann, H., Tague, C.L., 2007. Water and carbon fluxes of European ecosystems: an evaluation of the ecohydrological model RHESys. *Hydrological Processes* 21, 3328–3339. <https://doi.org/10.1002/hyp.6540>