



R1.4 Manual de contabilización de SE

FICHA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

Título del proyecto

Fomento del empleo verde y bioeconomía forestal de la Región de Murcia, para una transformación a sistemas resilientes y una economía baja en emisiones de carbono

Acrónimo del proyecto GREEN BOOST

Entidad coordinadora del proyecto Asociación de Gestión Forestal de Murcia (AGEFOMUR)

Entidades agrupadas en el proyecto
Universidad Politécnica de Valencia (UPV)
Asociación de Propietarios Forestales de la Región de Murcia (PROFOMUR)
Colegio Oficial de Ingenieros de Montes
Dirección General del Medio Natural (DGMN)

Datos informativos de la entrega R1.4.

Título: MANUAL OPERATIVO DE IDENTIFICACIÓN, SELECCIÓN, CUANTIFICACIÓN Y CONTABILIZACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN BOSQUES MEDITERRÁNEOS ASOCIADOS A LA GESTIÓN FORESTAL

Autores: Antonio D. del Campo, Laura Arnal Roig, Javier Pérez Romero.
Universitat Politècnica de Valencia (UPV)

Revisión: Agefomur

Fecha versión: Diciembre 2025

Propiedad intelectual: Universitat Politècnica de Valencia

Sugerencia de cita: Del Campo García, A., Arnal Roig, L., Pérez Romero, J., 2026. Manual operativo de identificación, selección, cuantificación y contabilización de servicios ecosistémicos en bosques mediterráneos asociados a la gestión forestal. V 1. Entregable 1.4 Proyecto Green Boost (Fn. Biodiversidad). Universitat Politècnica de Valencia. España.

Aviso legal: Si bien se ha hecho todo lo posible para garantizar la precisión de la información de este informe, la Universitat Politècnica de Valencia no se responsabiliza por errores de hecho, omisiones, interpretaciones u opiniones que puedan existir, ni por las consecuencias de cualquier decisión basada en esta información.

MANUAL OPERATIVO DE IDENTIFICACIÓN, SELECCIÓN, CUANTIFICACIÓN Y CONTABILIZACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN BOSQUES MEDITERRÁNEOS ASOCIADOS A LA GESTIÓN FORESTAL

Índice de contenidos

Resumen ejecutivo	5
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del manual y ámbito de aplicación	5
1.2. Cómo usar este manual (fases y pasos)	7
2. CONTEXTO NORMATIVO SERVICIOS ECOSISTÉMICOS FORESTALES	10
3. PARTICULARIDADES DE LOS BOSQUES MEDITERRÁNEOS	12
3.1. Rasgos abióticos clave	12
3.2. Multifuncionalidad y papel socioeconómico	13
3.3. Incendios, sequías y cambio climático	14
3.4. Implicaciones para la provisión de SE	15
4. MARCO DE REFERENCIA PARA LA CONTABILIZACIÓN	16
4.1. Clasificaciones de referencia de Servicios Ecosistémicos	16
4.2. Conceptos y definiciones	18
4.3. Selección operativa y adaptada de SE para bosques (SEEA-EA y CICES)	19
4.4. La contabilidad en el SEEA-EA	23
4.5. Encaje en la planificación y gestión forestal	25
5. ENFOQUE METODOLÓGICO OPERATIVO	26
5.1. Principios básicos de la contabilidad de SE	26
5.2. Escalas de trabajo (rodal, monte, comarca, región)	27
5.3. Horizonte temporal y escenarios	28
6. FASE I. DIAGNÓSTICO. PASO 1. IDENTIFICACIÓN DE SE: DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA FORESTAL	29
6.1. Definición del ámbito de análisis y caracterización biofísica-socioeconómica	30
6.2. Estado forestal: cuenta de extensión	32
6.3. Estado forestal: cuenta de condición del ecosistema I: estado básico	33
6.4. Fuentes de información disponibles (IFN, cartografía, SIG)	36
7. PASO 2. SELECCIÓN DE SE: VOCACIÓN DEL BOSQUE Y DEFINICIÓN DE OBJETIVOS GENERALES	37
7.1. Funciones y procesos implicados en los SE identificados	37
7.2. Niveles de referencia y condición de referencia	44

7.3.	Cuenta de condición del ecosistema II: Vocación.....	46
8.	PASO 3. JERARQUIZACIÓN DE LOS SE POR CAPACIDAD DE MEJORA CON GESTIÓN FORESTAL	49
8.1.	Gestión forestal mejorada para los SE	49
8.2.	Conveniencia de la gestión forestal para los SE.....	57
8.3.	Capacidad de acogida del medio de las actividades de gestión	58
8.4.	Jerarquización de SE por unidad de actuación.....	59
8.5.	Asignación de pesos	61
8.6.	Cadena lógica para descripción de los SEs individuales.....	63
9.	FASE II: PLANIFICACIÓN FORESTAL.....	64
	PASO 4: PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN FORESTAL DE SE	64
9.1.	Declaración de objetivos específicos (nivel II)	64
9.2.	Definición de indicadores para los SE	65
9.3.	Inventario del activo y zonificación. Línea base	68
9.4.	Acciones e itinerarios de gestión mejorada. Tabla de adicionalidad de la GFM	69
10.	PASO5. TABLA DE CUENTAS FÍSICAS DE USO Y OFERTA DE SE	71
10.1.	Usuarios de SEs	71
10.2.	Tabla de cuentas físicas de SE: oferta	72
10.3.	Tabla de cuentas físicas de SE: uso	73
11.	PASO 6: VALORACIÓN ECONÓMICA (CUANDO SEA PERTINENTE)	74
	FASE III. SEGUIMIENTO. PASO7. PLAN DE SEGUIMIENTO, REPORTE Y VERIFICACIÓN DEL PLAN	74
11.1.	MRV: Monitoreo, Reporte y Verificación	75
11.2.	Periodos temporales en el ciclo del proyecto	75
11.3.	Seguimiento del Plan	76
12.	FASE IV. VERIFICACIÓN-CERTIFICACIÓN. PASO 8. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN Y AUDITORÍA	78
12.1.	Elementos del proceso de certificación	78
12.2.	Verificación y auditoría	80
13.	CASOS PRÁCTICOS EN BOSQUES MEDITERRÁNEOS	82
13.1.	Ejemplo cuentas en monte público con riesgo de incendio	82
13.2.	Ejemplo integrado: Proyecto de gestión forestal mejorada en pinar de Pinus halepensis .	83
14.	REFERENCIAS.....	84

Resumen ejecutivo

Los bosques mediterráneos son sistemas ecológicamente limitados, altamente dinámicos y profundamente condicionados por el régimen de perturbaciones y por la gestión humana. Su valor estratégico reside principalmente en los servicios de regulación y protección, cuya estabilidad depende en gran medida de intervenciones adaptativas frente al cambio climático.

Cuantificar y contabilizar los servicios ecosistémicos (SEs) en los bosques mediterráneos es crucial porque permite transformar beneficios intangibles en datos técnicos que pueden generar datos económicos y créditos comercializables, facilitando su conservación y gestión sostenible en un entorno altamente vulnerable.

Este manual se elabora con la motivación de facilitar la visibilización de los SEs mediante una gestión proactiva, de modo que propietarios forestales y administraciones puedan valorizar sus montes más allá de los productos tradicionales, como la madera. El trabajo se plantea como una serie concatenada de fases y pasos que orbitan siempre alrededor de los servicios ecosistémicos y cómo la gestión forestal puede contribuir a su conservación, promoción y mejora en superficies forestales de carácter productivo, protector o mixto, y especialmente en contextos donde la gestión activa influye de manera significativa en la provisión de SE como base para pagos por servicios ambientales.

De este modo, la primera fase consiste en la identificación, selección y jerarquización de SEs en un área de evaluación determinada, donde se planteen acciones de gestión forestal mejorada para SEs. En la segunda fase, esta gestión mejorada se desarrolla en un plan técnico de gestión forestal cuyo objetivo estará preferentemente orientado a generar adicionalidad en el SE o SEs seleccionados y priorizados en la fase previa. La tercera fase abarca el seguimiento del plan y la presentación de la información recopilada en un formato tipificado de modo que se pueda valorar el logro de los objetivos de la gestión forestal. Esta fase servirá para identificar y medir los cambios en los SEs, y es la entrada para la última fase de verificación por auditores externos para proceder a certificaciones parciales o totales de las unidades de SEs, que pasarán a convertirse en créditos de SEs.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos del manual y ámbito de aplicación

Objetivo

El presente Manual tiene por objeto establecer un procedimiento técnico estandarizado para la **identificación, selección, jerarquización, cuantificación, seguimiento, contabilización y verificación** de los Servicios Ecosistémicos (SE) proporcionados por los bosques mediterráneos y semiáridos españoles, con fines de planificación, gestión y apoyo a la toma de decisiones públicas.

El Manual adquiere especial relevancia en el contexto del desarrollo de sistemas de certificación de Servicios Ecosistémicos a nivel nacional y europeo, que previsiblemente requerirán metodologías homogéneas y verificables para la cuantificación de aquellos servicios susceptibles de generar mecanismos de compensación o créditos ambientales. En este sentido, el Manual proporciona una base metodológica que permite respaldar técnicamente los procesos de puesta en valor de los SEs y facilitar el acceso a instrumentos de financiación vinculados a la gestión forestal sostenible.

El resultado esperado es la disponibilidad de un marco común, coherente y replicable de identificación, selección, jerarquización, cuantificación, seguimiento, contabilización y verificación de los SEs adaptado a las características de los bosques mediterráneos semiáridos españoles y al modelo actual de gestión forestal basado en resultados,

transparente y alineado con las políticas climáticas y ambientales europeas. Con ello se facilitará la comparación temporal y territorial de resultados y se reducen los costes técnicos asociados a estudios ad hoc mediante el aprovechamiento de información existente. Es igualmente esperable una mejora en la base técnica para la toma de decisiones públicas en materia forestal y ambiental.

Ámbito de aplicación y principios rectores

Como herramienta de apoyo en la planificación, el manual es aplicable a bosques y terrenos forestales integrados en montes públicos y privados, así como a otras figuras administrativas de la gestión territorial. Podrá utilizarse en los siguientes instrumentos técnicos:

- Planes de ordenación y planes técnicos de gestión forestal
- Proyectos de restauración forestal
- Programas de prevención de incendios
- Actuaciones de adaptación al cambio climático
- Estrategias territoriales vinculadas a política ambiental y climática

Su aplicación permitirá fundamentar técnicamente y científicamente iniciativas susceptibles de acogerse a ayudas públicas o mecanismos de financiación asociados a la mejora y mantenimiento de los SEs demandados por la sociedad.

La metodología se fundamenta en un enfoque progresivo y escalable. El nivel de detalle del análisis se adaptará a la disponibilidad de información, a la capacidad técnica y al objetivo de gestión, garantizando, al mismo tiempo, la comparabilidad temporal y territorial de los resultados.

Otro principio que rige el manual es el uso preferente de **indicadores simples, verificables y respaldados por la literatura existente**. Se priorizan indicadores biofísicos robustos, obtenidos de fuentes oficiales consolidadas (inventarios forestales, cartografía temática, sistemas de información geográfica y estadísticas sectoriales), evitando, en determinadas fases del proceso, la realización de campañas de campo específicas de elevado coste. Se fomenta la integración de bases de datos ambientales y forestales ya disponibles, optimizando recursos técnicos y económicos.

Finalmente, otro principio rector del manual es la **transparencia y la trazabilidad** de los supuestos metodológicos, los coeficientes empleados y las fuentes de información, que deberán documentarse adecuadamente, permitiendo su revisión, actualización y replicación.

Escalas de aplicación

La metodología podrá aplicarse a distintas escalas espaciales, en función del instrumento de planificación o del tipo de decisión administrativa que se pretenda apoyar:

- Rodal o monte individual, en el marco de instrumentos de ordenación o proyectos específicos.
- Unidad de gestión o agrupación de montes, cuando exista planificación conjunta o gestión coordinada.
- Escala municipal o comarcal, especialmente en análisis territoriales vinculados a planificación ambiental, prevención de incendios o estrategias climáticas.

La elección de la escala deberá justificarse expresamente en cada aplicación.

La metodología establecida constituye una herramienta de apoyo a la planificación y gestión forestal, pero no sustituye los estudios técnicos específicos exigidos por la normativa sectorial vigente ni reemplaza las evaluaciones ambientales regladas o los proyectos técnicos cuando estos sean obligatorios.

Los resultados obtenidos deberán interpretarse como estimaciones técnicas basadas en indicadores representativos, sujetas a incertidumbre derivada de la calidad y resolución de los datos disponibles, de la escala de análisis y de la variabilidad interanual característica de los sistemas semiáridos.

La valoración económica de los SEs, cuando se realice, tendrá carácter orientativo y comparativo, no constituyendo valoración patrimonial vinculante ni sustituyendo tasaciones oficiales. La monetización de los SEs no se desarrolla aquí; se ha priorizado el uso de cuentas físicas robustas.

La utilización de los resultados en procedimientos administrativos o financieros deberá realizarse con prudencia técnica, asegurando la correcta identificación de servicios finales y evitando la doble contabilización.

Finalmente, la metodología deberá actualizarse periódicamente para incorporar avances científicos, cambios normativos y nuevas fuentes de información, garantizando su coherencia con los marcos internacionales de contabilidad ambiental y con la evolución de las políticas forestales y climáticas.

A quién va dirigido

El propósito de la contabilización de los SE, tal como se plantea en este manual, es su integración en un **plan técnico de gestión forestal** cuyo objetivo sea la conservación y mejora de unos determinados SEs, acompañado de documentación complementaria de seguimiento y contabilización (MRV). Por ello, el manual es especialmente útil en contextos donde la gestión activa influye de manera significativa en la provisión de SE y se dirige a propietarios y gestores forestales públicos y privados, incluyendo administraciones autonómicas y locales competentes en materia de montes, entidades gestoras de montes catalogados o consorciados, comunidades de montes vecinales, juntas gestoras, propietarios particulares y empresas forestales. Asimismo, resulta de aplicación para organismos responsables de planificación territorial, gestión del agua, prevención de incendios y políticas climáticas.

El ámbito técnico abarca superficies forestales mediterráneas de carácter productivo, protector o mixto, incluyendo pinares, encinares, alcornocales, masas mixtas, repoblaciones forestales, montes periurbanos y sistemas forestales en restauración, tanto en grandes unidades de gestión como en pequeñas propiedades agrupadas. El Manual debe utilizarse como herramienta de apoyo a la gestión, no como un fin en sí mismo. La robustez metodológica, la coherencia interna y la prudencia en la interpretación de resultados son condiciones esenciales para garantizar su credibilidad técnica y su utilidad en el ámbito administrativo y financiero

1.2. Cómo usar este manual (fases y pasos)

El presente Manual ha sido concebido como una guía operativa de aplicación práctica, estructurada en una secuencia lógica de fases y pasos que permiten avanzar desde la caracterización del sistema forestal hasta la elaboración de cuentas de SE comparables y verificables que se conviertan en créditos de SE's. Su utilización no requiere necesariamente la aplicación íntegra y exhaustiva de todas las fases. El enfoque es progresivo, permitiendo adaptar el nivel de profundidad al objetivo del análisis, a la escala territorial y a los recursos técnicos disponibles.

El manual contiene unos puntos introductorios donde se da una definición operativa de Servicios Ecosistémicos y se discuten las clasificaciones existentes (ej. CICES) y se justifica la clasificación adoptada (adaptación SEEA-EA) en base a su encaje en el contexto actual de política forestal y ambiental. El criterio clave es la priorización de la operatividad frente al desarrollo teórico exhaustivo. A partir del punto 7, se van sucediendo una serie de fases y

etapas/pasos que van recorriendo el continuo: identificación → selección → jerarquización → cuantificación → seguimiento → contabilización → verificación. Se introducen muy brevemente los contenidos de cada uno de estos puntos:

Paso 0. Información general del plan

El primer punto consiste en definir la finalidad del proyecto (planificación, certificación, solicitud de ayudas, evaluación de proyectos, etc.). Tal como ya se ha indicado anteriormente, este manual se ajusta al formato de un Plan Técnico de Gestión de mejora y promoción de SEs asociados a una certificación y obtención de créditos.

A partir de aquí, el primer punto del Plan debe incluir tanto **información básica** como la **descripción legal**, administrativa y de parcelación.

FASE I. CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO

Esta fase podrá resumirse considerablemente en aquellas situaciones donde los SE ya estén identificados y seleccionados de antemano y si las prácticas virtuosas de mejora del SE son conocidas o están establecidas.

Paso 1. Identificación SE: Delimitación y caracterización del área forestal

Se realizará una caracterización de los aspectos biofísicos y socioeconómicos del medio, que servirá para identificar una lista preliminar de SE del territorio, sobre la cual delimitar la vocación, los objetivos y el enfoque general que deberá tener el plan de gestión y contabilización de los SE. Habrá que recopilar la información disponible procedente de inventarios y bases de datos oficiales. La caracterización deberá incluir los subsistemas atmosférico, suelo-fisiográfico, vegetación, hidrología y socioeconómico. Se complementa con la participación de los actores del territorio.

El resultado clave de este punto será la **identificación de los SE** existentes y potenciales del área que podrían ser objeto del Plan. Esto será gracias a la caracterización de la tipología forestal y su superficie y el análisis del estado del ecosistema (estructura, densidad, presiones) y del régimen de gestión existente. Los resultados se sintetizarán en una **cuenta de extensión y una cuenta de condición I del sistema forestal** objeto de análisis.

Paso 2. Selección de SE: vocación del área y definición de objetivos generales

Del análisis integrado de los distintos subsistemas del territorio (procesos implicados en los SE) y de las preferencias de las partes interesadas, se desprende la vocación y aptitud del territorio en su conjunto para las distintas funciones ecohidrológicas y se establecen los objetivos generales. SE establecen niveles de referencia y condición de referencia.

En los bosques semiáridos españoles, suelen ser prioritarios los servicios de regulación hídrica, control de erosión, almacenamiento y fijación de carbono, prevención de incendios, producción forestal y uso recreativo.

El resultado de esta fase es la selección de los SE relevantes y el enunciado y justificación de los objetivos generales guía de la gestión forestal. Esta definición condicionará el grado de precisión metodológica y la selección de indicadores generales. **El resultado es una cuenta de condición II (vocación) de SEs por tipo de ecosistema presente para los SE preseleccionados que organiza los datos sobre indicadores de los procesos y/o variables relevantes.**

Paso 3. Jerarquización de SEs por capacidad de mejora con gestión forestal

En este paso se atiende específicamente al rol de las masas forestales representativas del monte (unidades de actuación) para acoger las prácticas de gestión que cumplan los objetivos generales. Implica, por tanto, un primer paso: la valoración de la conveniencia de la gestión

forestal que mejora los SE y, seguidamente, la capacidad de acogida del medio para esa gestión. El resultado será la **jerarquización y priorización de los SE relevantes** en cada área de actuación (activo) en función de su importancia ecológica y socioeconómica y de su relación directa con la gestión forestal. Los SE seleccionados se describen mediante una cadena lógica.

FASE II. PLANIFICACIÓN FORESTAL

Paso 4. Planificación de la gestión forestal mejorada para SE

Constituye la parte de planificación forestal propiamente dicha, con objetivos específicos para cada unidad de actuación (nivel II) y la definición de indicadores para los SE. Contempla una zonificación e inventario del activo a partir del cual se deducen la condición actual, la línea base y la de **referencia**, la identificación y caracterización de las **prácticas virtuosas o de mejora** de los SE del plan, y un enunciado de objetivos específicos o de segundo nivel. Las acciones e itinerarios de gestión mejorada se recogen en una **tabla en formato simplificado de adicionalidad de la GFM**, que incluya aspectos como las unidades correspondientes a la Línea Base y la Gestión Mejorada, tasas de cambio en el tiempo según el plan, balances totales, etc.

Paso 5.1. Cuenta física de uso y oferta de SE.

Los resultados físicos se organizarán en tablas normalizadas que permitan resumir toda la información por cada unidad de actuación en un formato simplificado. Ello permitirá la comparación temporal y entre unidades territoriales, así como la identificación de **beneficiarios**.

Paso 5.2. Cuenta monetaria.

Cuando el objetivo del análisis lo requiera, podrá incorporarse una valoración económica orientativa de determinados servicios, siguiendo criterios prudentes y evitando la doble contabilización. No se contempla en este manual.

Paso 6. Partes complementarias del plan

Deben interpretarse las decisiones y los resultados obtenidos en relación con escenarios alternativos de gestión, las necesidades de inversión y los posibles mecanismos de financiación. Deben considerarse, en su caso, la evaluación y gestión del riesgo de reversión y permanencia, según la práctica habitual en los instrumentos de planificación forestal o territorial. En ocasiones, como en el Reglamento 2024/3012, puede exigirse que la actividad demuestre que va más allá de los requisitos legales existentes o que resulte viable desde un punto de vista económico gracias a algún efecto incentivador (p. ej., la certificación). Para ello debe acompañarse el Plan de un presupuesto asignado a las acciones con respecto a la línea base. La finalidad no es la mera generación de cifras, sino proporcionar una base objetiva para la gestión forestal y reforzar la justificación técnica de actuaciones públicas o privadas. La actividad ha de cumplir con los objetivos de sostenibilidad.

Finalmente, como instrumento técnico de gestión, el plan debe incluir Cartografía y Geolocalización, firmas y Anejos.

FASE III. PLAN DE SEGUIMIENTO, VERIFICACIÓN Y ACTUALIZACIÓN

Paso 7. Plan de seguimiento, control interno de calidad y emisión de informes

En la práctica hay tres procesos independientes, pero relacionados: la medición y monitoreo (M), el reporte o informe (R) y la verificación (V). Estos tres procesos se conocen como sistema "MRV" y es fundamental para evaluar e informar la efectividad de las medidas de adicionalidad a lo largo del tiempo y para atraer apoyo financiero de diversos financiadores. En este punto se cubren los dos primeros procesos.

La contabilización de Servicios Ecosistémicos debe entenderse como un proceso dinámico con actualización periódica coincidente con revisiones del plan de gestión, incorporación de nuevas fuentes de datos y revisión de coeficientes conforme avancen los conocimientos científicos. El seguimiento identificará la magnitud y tasas de cambio, si las acciones de gestión planificadas están siendo efectivas y, en cualquier momento, para monitorear el progreso logrado con la silvicultura.

FASE IV. VERIFICACIÓN

Paso 8. Procedimiento de verificación y auditoría

Abarca el proceso de verificación de la terna MRV. Aplica cuando los beneficios cuantificados de los SEs se quieran comercializar como créditos en mercados ad hoc. Se trata de un procedimiento mediante el cual se hace una validación y verificación de las unidades generadas y reportadas por organismos de certificación independientes y auditores.

2. CONTEXTO NORMATIVO SERVICIOS ECOSISTÉMICOS FORESTALES

Los ecosistemas forestales sanos mantienen la biodiversidad, regulan el agua, mitigan el cambio climático y reducen los riesgos naturales, por lo que restaurarlos y protegerlos es una inversión clave para la seguridad ambiental. De esto se hacen eco las políticas europeas actuales, tales como el Pacto Verde Europeo y la Estrategia de Biodiversidad 2030, la Ley de Restauración de la Naturaleza y la Estrategia del Suelo de la UE. La Unión Europea ha presentado en julio de 2025 su “**Roadmap Towards Nature Credits**” con el objetivo de movilizar financiación privada para acciones positivas con la naturaleza que complementen los fondos públicos disponibles, que cataloga como insuficientes. La iniciativa reconoce que más de la mitad del PIB global y dos tercios del valor añadido de la UE dependen de servicios ecosistémicos como la polinización, la calidad del agua, la retención de agua o la fertilidad del suelo, entre otros. Sus objetivos específicos son recompensar a quienes restauran o conservan el entorno, mover capital privado hacia la biodiversidad y establecer un sistema creíble, transparente y con certificación (Fig. 1).



Fig. 1. Resumen gráfico de la iniciativa de la Unión Europea sobre Créditos de la Naturaleza.

Los Créditos de la Naturaleza se definen como unidades certificadas y verificadas que representan resultados positivos para la biodiversidad y los ecosistemas, derivados de acciones como la restauración, la conservación o la gestión sostenible de los recursos naturales. Así, los Créditos de la Naturaleza se contemplan como una vía para movilizar recursos privados y cerrar la brecha estimada de 37.000×10^6 € anuales para la biodiversidad mediante mecanismos financieros innovadores.

Cada tipo de Crédito de la Naturaleza debe apoyarse en **metodologías estandarizadas** para medir y verificar los resultados, con transparencia, gobernanza sólida y certificación independiente, asegurando la integridad ambiental y efectos verdaderamente adicionales al status quo. Se contemplan como complementarios a los créditos de carbono (no como reemplazo), de modo que, si estos se centran en la reducción de emisiones, los Créditos de la Naturaleza tienen como objetivo la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

La hoja de ruta contempla una implementación progresiva entre 2025 y 2027, estructurada en fases:

- **2025:** Se formará un **grupo de expertos** de alto nivel, que incluirá representantes de gobiernos, comunidades locales, sector científico, propietarios de tierras, sociedad civil y actores financieros. Se lanzará una fase de consulta pública
- **2026: Desarrollo de metodologías específicas**, incluyendo formas de evaluar la biodiversidad en proyectos de agricultura regenerativa o forestación, y establecimiento de criterios para certificación.
- **2027: Lanzamiento de proyectos piloto** para probar mecanismos de certificación, gobernanza, seguimiento, verificación y modelos financieros

La credibilidad del mecanismo depende de (i) una certificación y verificación independientes, con separación clara entre ejecutores, certificadores y registradores; y (ii) del uso de métricas rigurosas y basadas en ciencia para cuantificar la biodiversidad, mitigar riesgos de doble contabilidad y asegurar adicionalidad. Se trata de asegurar la transparencia total en la emisión y comercio de créditos y evitar el greenwashing, contando con estructuras regulatorias sólidas.

Otros reglamentos y directivas concurrentes de la UE son el **Reglamento (UE) 2020/852 (Taxonomía Verde)** establece un sistema de clasificación para determinar qué actividades económicas pueden considerarse ambientalmente sostenibles en la Unión Europea. La taxonomía identifica la gestión **forestal sostenible como una de las actividades elegibles** que pueden contribuir de manera sustancial a los objetivos medioambientales de la UE. Establece que los bosques pueden mantener o mejorar los servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica, la captura de carbono, la conservación del suelo, la provisión de hábitat, la recreación y la calidad del aire. Tres objetivos medioambientales en concreto tienen relación con el bosque:

- La adaptación al cambio climático, mediante gestión que mejore la resiliencia de los bosques.
- El uso sostenible y protección del agua y los recursos marinos, mediante mejora de infiltración y regulación hídrica.
- La prevención y control de la contaminación, mediante mejora de infiltración y provisión de agua limpia en cantidad y régimen.

El estándar ESRS E3 (Agua y recursos marinos) es uno de los pilares de las Normas Europeas de Información de Sostenibilidad (ESRS), incluido en la Directiva sobre información corporativa en materia de sostenibilidad, CSRD – (UE) 2022/2464. Hay 12 ESRS o normas que se deben seguir para cumplir los requisitos de divulgación de la CSRD, y el E3 se engloba dentro del área ambiental, enfocándose en establecer los requisitos para que las empresas informen sobre su impacto y dependencia de los recursos hídricos y marinos. Su objetivo es aumentar la

transparencia y comparabilidad de la información de sostenibilidad, permitiendo evaluar la gestión de las empresas en cuanto al consumo de agua, las extracciones y vertidos, y el impacto en ecosistemas acuáticos y marinos. Con ello, las empresas pueden mejorar su contribución a las ambiciones del Pacto Verde Europeo en materia de agua limpia y sostenibilidad de la economía azul (Fig. 2)

CSRD (EU - 2022/2464)	Pacto Verde Europeo: Activids. ambientales, sociales y de gobernanza	Taxonomía verde (Reg. 2020/852)
• Exige a las empresas que realicen un seguimiento e informen sobre sus actividades ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) utilizando las Normas Europeas de Informes de Sostenibilidad. • Norma ESRS E3 (Recursos Hídricos) para informar sobre el impacto y la dependencia del agua → m³	• Las empresas implementan iniciativas ESG para mejorar su desempeño en estos tres pilares, • Con el objetivo de ser más sostenibles y socialmente responsables.	• Un sistema de clasificación para actividades sostenibles. • Lista de lo que constituye una actividad económica ambientalmente sostenible • Las empresas, los inversores y los reguladores pueden tener definiciones al respecto. • La Gestión forestal sostenible es una de las actividades subvencionables

Fig. 2. Resumen de las iniciativas legislativas de la Unión Europea que enmarcarán la futura demanda de servicios ecohidrológicos de los montes.

En el plano del carbono, el contexto europeo está marcado por el objetivo de neutralidad climática en el año 2050. Esto ha supuesto la aparición de normativas relacionadas con el secuestro o eliminación de carbono atmosférico en el medio rural (conocidas como *carbono cultura*) entre la cuales el **Reglamento LULUCF** (UE-841/2018) y especialmente el **Reglamento (UE) 2024/3012 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de noviembre de 2024**, por el que se establece un **Marco de Certificación de la UE para las Absorciones de Carbono** (CRCF, por sus siglas en inglés: Carbon Removal Certification Framework) son el máximo exponente. Este reglamento sienta las bases para la certificación oficial de las eliminaciones de carbono a nivel de la Unión Europea, incluyendo dentro de la carbonocultura (*carbon farming*), la forestación y la gestión forestal mejorada (aunque separa el almacenamiento en productos aprovechados de la madera). Además de los criterios Calidad (**cuantificación verificable, adicionalidad, responsabilidad y permanencia**), establece un sistema armonizado de seguimiento, reporte y verificación (MRV) y reconoce los co-beneficios para biodiversidad y los recursos hídricos.

3. PARTICULARIDADES DE LOS BOSQUES MEDITERRÁNEOS

3.1. Rasgos abióticos clave

Los bosques mediterráneos constituyen uno de los sistemas forestales más singulares y complejos de Europa por la combinación de limitaciones climáticas, alta variabilidad interanual, intensa interacción histórica con las sociedades humanas y elevada diversidad biológica. En el caso español, estos sistemas ocupan una parte sustancial del territorio forestal y desempeñan funciones esenciales tanto en términos ecológicos como socioeconómicos.

Desde la perspectiva de la contabilización de Servicios Ecosistémicos (SE), los bosques mediterráneos presentan características diferenciales respecto a sistemas templados o boreales, especialmente en lo relativo a la importancia de los servicios de regulación, la influencia determinante de la gestión activa y la elevada exposición a perturbaciones naturales.

La provisión de SE en estos sistemas no puede analizarse únicamente desde una lógica productiva, sino que debe entenderse en el marco de su vulnerabilidad estructural y de su función protectora frente a procesos de degradación ambiental.

Régimen climático mediterráneo. El rasgo definitorio de los bosques mediterráneos es la existencia de un régimen climático caracterizado por veranos largos, secos y calurosos; precipitaciones irregulares, concentradas en otoño y primavera; elevada variabilidad interanual; y episodios recurrentes de sequía prolongada.

Este patrón climático condiciona profundamente la estructura y funcionamiento de los ecosistemas forestales. La limitación hídrica estival determina la productividad primaria neta, la dinámica del crecimiento arbóreo y la acumulación de biomasa. Asimismo, la irregularidad de las precipitaciones incrementa la vulnerabilidad frente a procesos erosivos y fenómenos torrenciales.

Desde la perspectiva de los SE, esta configuración climática implica que los servicios de regulación hídrica, control de erosión y mantenimiento del suelo adquieren una relevancia estratégica superior a la observada en regiones con mayor estabilidad climática.

Suelos y limitaciones edáficas. Los suelos en regiones mediterráneas presentan con frecuencia baja profundidad efectiva, escaso contenido en materia orgánica, limitaciones estructurales derivadas de pendientes acusadas y vulnerabilidad frente a la erosión hídrica.

En amplias zonas semiáridas, la pérdida de suelo constituye uno de los principales riesgos ambientales. El bosque cumple aquí una función protectora esencial, estabilizando el terreno mediante su sistema radicular y reduciendo la energía cinética de las precipitaciones.

En términos de contabilidad de SE, el suelo debe considerarse un activo ecológico crítico, cuyo mantenimiento está directamente vinculado a la provisión de servicios de regulación y a la sostenibilidad de los servicios de aprovisionamiento.

Régimen de disturbios naturales. Los bosques mediterráneos han evolucionado históricamente bajo un régimen recurrente de perturbaciones, entre las que destacan los incendios forestales, las sequías extremas, las plagas y enfermedades asociadas a estrés hídrico o los episodios de lluvias torrenciales.

El fuego, en particular, forma parte del régimen ecológico natural de muchos ecosistemas mediterráneos, aunque en la actualidad su frecuencia e intensidad se han visto alteradas por factores antrópicos y por el cambio climático.

Este régimen de disturbios condiciona la estructura del paisaje, la composición específica y la acumulación de combustible vegetal. Desde el punto de vista de los SE, implica que la estabilidad en la provisión de servicios no está garantizada sin intervención de gestión activa.

3.2. Multifuncionalidad y papel socioeconómico

Los bosques mediterráneos no pueden entenderse sin considerar su profunda interacción histórica con las sociedades rurales. Durante siglos han sido sistemas agro-silvo-pastorales multifuncionales, proporcionando leña y madera, pastos, carbón vegetal, resina, corcho, frutos y productos forestales no maderables. El abandono progresivo de usos tradicionales ha modificado la estructura de muchas masas forestales, favoreciendo procesos de densificación y acumulación de combustible.

Papel protector. Desde el punto de vista de los SE, esta transición socioeconómica ha alterado la relación entre servicios de aprovisionamiento y servicios de regulación, incrementando el peso relativo de estos últimos. En amplias zonas de montaña y áreas

semiáridas, el bosque cumple una función protectora fundamental en lo referente a la protección frente a la erosión y la desertificación, la regulación de escorrentías, la contribución a la calidad del agua y la laminación de avenidas y, por tanto, en lo referente a la protección de infraestructuras.

Estos servicios no siempre generan rentas de mercado directas, pero tienen un alto valor social y económico indirecto. Por ello, la contabilización de SE en bosques mediterráneos debe prestar especial atención a los servicios de regulación, que en muchos casos superan en importancia estratégica a la producción maderera.

Dimensión recreativa y cultural. El incremento del uso recreativo de espacios forestales, especialmente en entornos periurbanos, ha reforzado la dimensión cultural de estos ecosistemas, a través de prácticas como el senderismo y actividades deportivas, turismo rural, educación ambiental, identidad paisajística, etc.

En determinadas regiones, el servicio recreativo puede representar uno de los principales valores económicos asociados al bosque.

Contribución a políticas climáticas. Los bosques mediterráneos desempeñan un papel relevante en el almacenamiento y fijación de carbono, la sustitución de materiales intensivos en carbono y la producción de biomasa energética. No obstante, su vulnerabilidad frente a incendios y sequías obliga a considerar la estabilidad temporal de estos servicios.

3.3. Incendios, sequías y cambio climático

Los bosques mediterráneos se encuentran entre los ecosistemas europeos más expuestos a los efectos combinados del cambio climático y de la alteración del régimen de perturbaciones naturales. La interacción entre incendios forestales, sequías recurrentes y aumento de temperaturas está modificando la dinámica estructural y funcional de estos sistemas, con implicaciones directas sobre su capacidad de provisión de Servicios Ecosistémicos.

Incendios forestales: cambio de régimen y consecuencias estructurales. El fuego forma parte del régimen ecológico natural de numerosos ecosistemas mediterráneos. Sin embargo, en las últimas décadas se observa una tendencia hacia una mayor frecuencia de incendios extremos, con aumento de la intensidad y severidad por una mayor continuidad horizontal y vertical del combustible y aumento del combustible disponible, dando así lugar a que se generen condiciones más propicias para los GIF (grandes incendios forestales).

Estos cambios responden a la combinación de factores climáticos, abandono rural, homogeneización del paisaje y acumulación de biomasa. Desde el punto de vista ecológico, los incendios de alta severidad pueden provocar pérdida de suelo fértil, reducción del banco de semillas, simplificación estructural del bosque y transformación hacia matorral degradado en zonas semiáridas.

Desde la perspectiva de los Servicios Ecosistémicos, los incendios severos generan una interrupción de servicios productivos con pérdida inmediata del servicio de almacenamiento de carbono y reducción temporal o prolongada de la capacidad de fijación. Además disminuye la protección frente a la erosión y los servicios culturales y recreativos. Por tanto, en sistemas mediterráneos, la prevención de incendios constituye en sí misma un servicio ecosistémico indirecto asociado a la gestión activa del territorio.

Sequías estructurales y mortalidad forestal. El incremento de la frecuencia e intensidad de sequías prolongadas está generando procesos de decaimiento forestal, mortalidad masiva en determinadas especies, reducción del crecimiento anual y mayor vulnerabilidad frente a plagas y patógenos.

En sistemas semiáridos, el estrés hídrico sostenido puede alterar la composición específica, favoreciendo especies más xerófilas o matorrales frente a masas arbóreas. En términos de Servicios Ecosistémicos, la sequía afecta directamente a la productividad primaria neta y por tanto a la capacidad de fijación de carbono. También la regulación hídrica y la estabilidad del suelo se pueden ver vafectados por la merma o pérdida de cubierta arbórea, que puede amplificar procesos de retroalimentación negativa, incrementando la temperatura superficial y reduciendo la infiltración de agua.

Cambio climático y escenarios futuros. Las proyecciones climáticas para regiones mediterráneas indican un aumento sostenido de temperaturas medias, la reducción de precipitaciones medias anuales en amplias zonas, la mayor irregularidad en eventos extremos y la intensificación de olas de calor. Estos escenarios implican una posible reducción de la productividad forestal en determinadas áreas y un incremento del riesgo de desertificación en zonas marginales.

La contabilización de SE en bosques mediterráneos no puede basarse únicamente en datos históricos, sino que debe considerar posibles trayectorias futuras de degradación o adaptación. Desde el punto de vista de la planificación y contabilización de SE, el cambio climático introduce elementos críticos a considerar como:

- Mayor incertidumbre en la estabilidad temporal de los servicios.
- Necesidad de incorporar escenarios prospectivos.
- Relevancia estratégica de la gestión adaptativa.

3.4. Implicaciones para la provisión de SE

Las características ecológicas y socioeconómicas descritas condicionan de forma directa la provisión, estabilidad y contabilización de los Servicios Ecosistémicos en bosques mediterráneos.

Predominio de servicios de regulación. A diferencia de sistemas forestales altamente productivos, en muchos bosques semiáridos el valor estratégico radica en servicios de regulación tales como la protección del suelo frente a la erosión, la regulación de escorrentías, el mantenimiento de la infiltración, la prevención de desertificación o la moderación microclimática.

Estos servicios presentan menor visibilidad económica directa, pero su pérdida puede generar elevados costes sociales y ambientales. Por tanto, el Manual debe priorizar metodologías robustas de cuantificación física de estos servicios, aunque su monetización sea parcial o compleja.

Alta dependencia de la gestión activa. En numerosos contextos mediterráneos, la provisión estable de SE depende de intervenciones selvícolas tales como clareos y claras, reducción de combustible, restauración hidrológico-forestal, diversificación estructural, etc. Sin gestión, pueden producirse procesos de densificación excesiva, incremento del riesgo de incendio, reducción de resiliencia frente a sequía y pérdida progresiva de capacidad reguladora.

Por ello, la contabilización de SE debe incorporar el análisis de escenarios de gestión, permitiendo comparar el escenario sin intervención con el escenario de gestión preventiva y el escenario de restauración activa en su caso.

Variabilidad interanual y necesidad de promedios plurianuales. La elevada variabilidad climática mediterránea implica que los flujos anuales de determinados servicios (p. ej., fijación de carbono o producción de biomasa) pueden fluctuar significativamente.

En consecuencia, para fines contables y comparativos se recomienda utilizar medias plurianuales y documentar años atípicos, siendo fundamental diferenciar entre tendencias estructurales y variaciones coyunturales.

Vulnerabilidad y riesgo como variables contables. En sistemas mediterráneos, el riesgo de pérdida de servicios (especialmente por incendio) constituye un elemento relevante. Desde un enfoque avanzado de contabilidad ecosistémica, puede considerarse la probabilidad de pérdida de stock de carbono, la pérdida potencial de suelo y la reducción esperada de provisión de servicios bajo escenarios extremos.

Aunque no siempre se traduzca en términos monetarios, la incorporación del riesgo mejora la interpretación de resultados y refuerza la justificación de medidas preventivas.

Necesidad de enfoque integrado. La multifuncionalidad de los bosques mediterráneos implica que la mejora de un servicio puede influir positiva o negativamente en otros. Por ejemplo, la reducción de la densidad supondrá un menor riesgo de incendio (positivo), pero una posible disminución temporal del carbono almacenado (negativo). O el incremento del uso recreativo aumentará el valor cultural, pero conllevará una mayor presión sobre el suelo. Por ello, la contabilización debe evitar análisis aislados y promover una visión integrada de los servicios y compromisos.

4. MARCO DE REFERENCIA PARA LA CONTABILIZACIÓN

4.1. Clasificaciones de referencia de Servicios Ecosistémicos

Las clasificaciones de los servicios ecosistémicos han evolucionado desde descripciones generales de la utilidad de la naturaleza hacia marcos estructurados como el del Millennium Ecosystem Assessment (MEA, (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)). La clasificación del MEA popularizó la tipología de servicios de provisión, regulación, culturales y de soporte.

Otro antecedente importante fue The Economics of Ecosystems and Biodiversity (Kumar, 2010) TEEB), que mantuvo la estructura de cuatro categorías (provisión, regulación, cultural y servicios de hábitat/soporte), pero cambió el enfoque hacia la valoración económica y la aplicación de políticas, reforzando la necesidad de marcos comparables para integrar los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones económicas.

La **Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos** (Common International Classification of Ecosystem Services, CICES V5.2 (Haines-Young and Potschin-Young, 2018; Haines-Young, 2023), es un sistema estandarizado de clasificación de servicios ecosistémicos desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) en el marco de las iniciativas europeas de contabilidad ambiental. Su finalidad principal es proporcionar una estructura coherente y jerárquica que permita identificar, clasificar y comparar los servicios ecosistémicos de forma compatible con los sistemas de contabilidad ambiental. Surge como respuesta a la necesidad de armonizar el lenguaje y la estructura conceptual en torno a los servicios ecosistémicos, evitando ambigüedades y dobles contabilizaciones.

CICES se basa en el enfoque de “servicios finales”, es decir, aquellos componentes de la naturaleza que contribuyen directamente al bienestar humano, excluyendo los procesos ecológicos intermedios (funciones o procesos de soporte) para garantizar una consistencia contable. Es decir, CICES elimina la categoría de servicios de soporte, considerando que estos corresponden a procesos ecológicos subyacentes y no a servicios finales. Tiene una estructura jerárquica de cinco niveles: Sección, División, Grupo, Clase y Tipo de servicio. En su nivel más alto (secciones) distingue: Provisión, Regulación y mantenimiento, y Culturales. Esta organización permite trabajar tanto a escalas agregadas (por ejemplo, informes nacionales)

como en aplicaciones detalladas (gestión forestal, planificación territorial o evaluación de proyectos). CICES no es un sistema de contabilidad, sino un sistema de clasificación jerárquica que establece qué se entiende por servicio final, cómo se estructura y se codifica, y cómo evitar dobles contabilizaciones.

El SEEA-EA (United Nations, 2025) es el Sistema de Contabilidad Ambiental-Económica – Contabilidad de los Ecosistemas (System of Environmental-Economic Accounting – Ecosystem Accounting) de las Naciones Unidas. Es el marco estadístico internacional que permite contabilizar de forma estandarizada los ecosistemas y los servicios que proporcionan, integrándolos con información económica para apoyar la toma de decisiones públicas. Sirve para medir, organizar y presentar de forma estandarizada el estado de los ecosistemas, los servicios ecosistémicos que proporcionan y su relación con la economía, de manera compatible con la contabilidad nacional. Con este sistema, las administraciones públicas pueden integrar los ecosistemas en la toma de decisiones económicas, comparar resultados entre territorios y en el tiempo, justificar políticas, inversiones y ayudas públicas y evitar enfoques ad hoc o no comparables. En la práctica, convierte los ecosistemas en algo medible, trazable y reportable, sin ponerle precio a todo obligatoriamente.

Define cómo elaborar cuentas de extensión y condición de ecosistemas, cómo construir cuentas físicas de servicios ecosistémicos y cómo integrarlas en el sistema económico nacional. No impone una clasificación específica obligatoria de servicios.

La Cartografía y Evaluación de los Ecosistemas y sus Servicios (MAES) (European Commission, 2013). En 2011, la Unión Europea adoptó una Estrategia de Biodiversidad para 2020 (European Commission. Joint Research Centre., 2020a, 2020b) con el objetivo de frenar la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos en la UE y ayudar a detener la pérdida global de biodiversidad para 2020. La Acción 5 de la Estrategia, más conocida como Cartografía y Evaluación de los Ecosistemas y sus Servicios (MAES), establece que los Estados miembros deben cartografiar y evaluar el estado de los ecosistemas y sus servicios, evaluar el valor económico de dichos servicios y promover la integración de estos valores en los sistemas contables y de reporte a nivel de la UE y nacional para 2020. MAES (European Commission. Joint Research Centre., 2020a, 2020b) define el proceso de evaluación y establece un marco analítico que incluye estándares e indicadores para cartografiar la condición y los servicios ecosistémicos. Las normas incluyen la tipología para los servicios ecosistémicos según CICES (que define qué servicios se clasifican y cómo se estructuran). Existen guías sobre indicadores para evaluar la condición y los servicios ecosistémicos por tipo de ecosistema.

La relación entre MAES y CICES 5.2 es estructural y operativa: CICES constituye el sistema de clasificación de servicios ecosistémicos que MAES utiliza como referencia metodológica común para garantizar coherencia entre Estados miembros. MAES es, por tanto, un marco político-técnico de implementación europeo mientras que CICES es un instrumento técnico de clasificación codificado y compatible con la contabilidad ambiental (SEEA-EA). SEEA-EA define cómo se contabilizan los servicios en términos económicos y estadísticos.

Estructuralmente, la relación puede representarse como: MAES (Marco político y de implementación de la UE) → Utiliza como referencia técnica: CICES 5.2 (Sistema de clasificación estandarizado) → Compatible y alineado con: SEEA-EA (Sistema internacional de contabilidad ambiental). Desde el punto de vista estadístico, CICES y SEEA-EA están alineadas con los principios del System of National Accounts (SNA), lo que facilita su integración en marcos de contabilidad económica ampliada. Este enfoque permite vincular cuentas físicas (por ejemplo, toneladas de madera, toneladas de carbono secuestrado, volumen de agua regulada) con posibles valoraciones monetarias, manteniendo la coherencia metodológica.

En realidad, SEEA-EA puede aplicarse de forma autónoma, ya que no impone una clasificación específica de servicios ecosistémicos. No obstante, en el contexto europeo resulta

metodológicamente recomendable utilizar CICES 5.2 como sistema de clasificación de referencia, dada su coherencia conceptual, su aceptación institucional y su alineación con los principios de contabilidad ambiental establecidos por Naciones Unidas. Lo recomendable será utilizar **CICES** como **sistema de clasificación** y **SEEA-EA** como **marco contable**, lo que proporciona solidez metodológica, coherencia internacional y defensa técnica ante auditorías o revisión científica.

4.2. Conceptos y definiciones

El enfoque SEEA-EA recoge e integra toda la investigación y práctica previas para establecer un marco de medición de los servicios ecosistémicos y su contribución a las personas y a la economía. Estas contribuciones van mucho más allá de los bienes comercializados, como la madera, e incluyen servicios como la filtración del aire, la purificación del agua, la regulación climática global y servicios relacionados con la recreación.

Utilizando el marco estadístico internacional SEEA-EA, conviene aclarar algunos términos concretos que se usarán en este manual, si bien para referencias de metodología y terminología completas, se recomienda la consulta al propio manual.

Servicios ecosistémicos. Según SEEA-EA, los servicios ecosistémicos son las contribuciones de los ecosistemas a los beneficios utilizados en la actividad económica y otras actividades humanas.

Uso. Según la definición previa, el uso incluye el consumo físico directo, el disfrute pasivo y la recepción indirecta de servicios. Además, los servicios ecosistémicos abarcan todas las formas de interacción entre ecosistemas y personas, tanto in situ como interacciones remotas.

Flujos de servicios ecosistémicos. En la contabilidad ecosistémica, los servicios ecosistémicos se registran como flujos entre activos ecosistémicos y unidades económicas, tales como empresas, gobiernos y hogares. Los flujos de servicios ecosistémicos a veces se reflejan en flujos físicos directos (madera), pero también pueden reflejarse en la recepción indirecta de servicios ecosistémicos, como los servicios de control de inundaciones.

Oferta. En gran parte de la literatura sobre servicios ecosistémicos, el término oferta o suministro se refiere al potencial o capacidad de un ecosistema para suministrar servicios independientemente de su uso, mientras que el término uso se refiere al flujo real de servicios hacia las personas. En la contabilidad ecosistémica, siguiendo tratamientos contables estándar, las medidas de oferta y uso son equivalentes y serán iguales al flujo real entre el activo ecosistémico y las personas.

Servicios y beneficios ecosistémicos. Destacar la necesidad de diferenciar entre servicios y beneficios ecosistémicos. Los **beneficios** son los bienes y servicios que, en última instancia, son utilizados y disfrutados por las personas y la sociedad. En la contabilidad ecosistémica, el término beneficio se refiere a una ganancia o contribución positiva al bienestar derivada del uso de los servicios ecosistémicos.

Los beneficios se clasifican en SNA o no SNA (Statistical National Accounts). Los beneficios del SNA son bienes y servicios incluidos en el límite de producción del SNA. Ejemplos de beneficios SNA incluyen toda la comida, el agua, la energía, la ropa y los servicios recreativos disponibles para su compra. Los beneficios no relacionados con el SNA son bienes y servicios que no están incluidos en el límite de producción del SNA. Ejemplos de beneficios no relacionados con SNA incluyen el aire limpio y la protección contra inundaciones proporcionada por los ecosistemas. En la contabilidad ecosistémica, **todos los servicios ecosistémicos están fuera del límite de producción de los SNA.**

Servicios finales e intermedios. El enfoque principal recae en los SEs finales, aquellos en los que el usuario del servicio es una unidad económica (empresas, gobiernos y hogares). Los

servicios intermedios representan contribuciones a los beneficios, pero el usuario de tales servicios es un activo ecosistémico y existe una conexión con el suministro de servicios ecosistémicos finales. Para fines de contabilidad ecosistémica, la medición de servicios intermedios debería centrarse generalmente en casos donde existan conexiones observables entre activos ecosistémicos de alto interés analítico. La contabilidad ecosistémica debe centrarse en registrar los SEs finales, y las entradas para servicios intermedios deben referirse únicamente a aquellos flujos que puedan estar claramente conectados con un SE final y que sean de particular relevancia para la gestión ecosistémica. No es ambición de la contabilidad de ecosistemas proporcionar una documentación completa de todos los procesos o conexiones ecológicas. Registrar estos servicios intermedios como intercambios entre activos ecosistémicos no equivale a registrar la amplia gama de flujos biofísicos dentro y entre ecosistemas que reflejan procesos ecológicos en curso y características asociadas (flujos intra e interecosistemas).

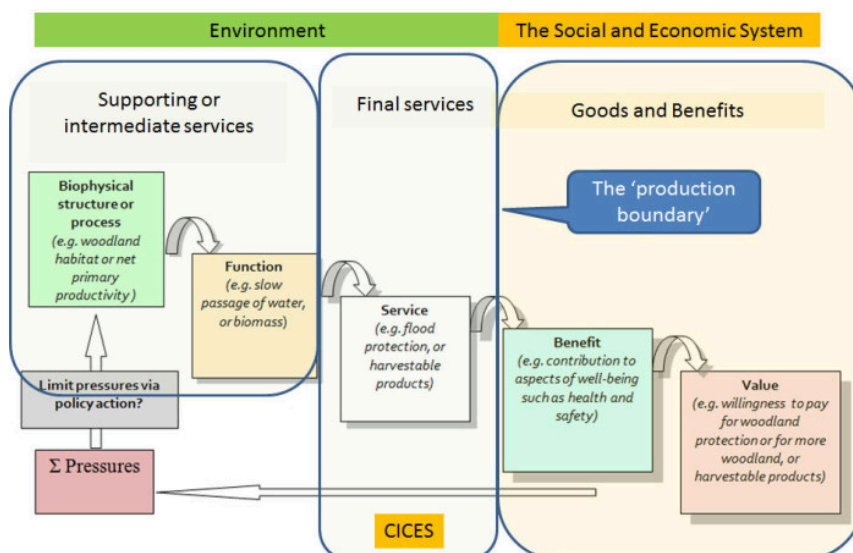
Aunque estos procesos y características asociadas son sin duda fundamentales para el suministro de SEs, un mapeo completo de los flujos intra e interecosistemas es incomprensible. No obstante, puede ser interesante entender hasta qué punto los distintos procesos ecológicos funcionan adecuadamente, por ejemplo, para comprender la capacidad de un ecosistema para proporcionar SEs en el futuro. En la contabilidad de ecosistemas, el mantenimiento de ecosistemas funcionales en buen estado se considera en la medición de su condición y la capacidad del ecosistema.

Usuarios y beneficiarios. La unidad económica que tiene la conexión directa con el ecosistema, es decir, la unidad que es la contraparte en la interacción con el ecosistema, se denomina el **usuario** del servicio ecosistémico y el resto son **beneficiarios**. Por ejemplo, una compañía de aguas que usa (usuario) el servicio de purificación de agua del bosque y luego distribuye el agua a sus clientes (beneficiarios). Al registrar los flujos de servicios ecosistémicos para diversos usuarios y beneficiarios, es relevante considerar la ubicación de uso en relación con la ubicación del ecosistema suministrador. Esto se extendería a la consideración de las importaciones y exportaciones de SEs y los beneficios asociados.

4.3. Selección operativa y adaptada de SE para bosques (SEEA-EA y CICES)

Los sistemas de clasificación de servicios ecosistémicos tradicionales presentaban una mala correspondencia entre servicios y beneficios y difuminaban las distinciones entre servicios intermedios y finales.

CICES y la mayoría de la literatura sobre servicios ecosistémicos se basa en el concepto de cascada propuesto por Haines-Young y Potschin en 2010 (Haines-Young and Potschin-Young, 2018) como referencia para el desarrollo de sistemas de evaluación y caracterización de servicios ecosistémicos MAES (European Commission. Joint Research Centre., 2020a, 2020b). Este marco en cascada muestra la trayectoria de los servicios ecosistémicos desde las estructuras y procesos ecológicos hasta el bienestar humano (Fig. 3).



Proposed definitions of the cascade framework terminology.

Term	Definition	Examples ^a
Biophysical structure ^b	The setting for ecosystem components (biotic and abiotic). This also relates to the ecological pattern	Forest tree cover Inland water bodies
Process or function	An ecological interaction among components in an ecosystem over time. Processes may generate several ecosystem services.	Net primary production Carbon cycling Nutrient cycling
Ecosystem service	A flow generated by the ecosystem including ecological interactions and information which are useful to human beings. We therefore propose that ecosystem services do not include ecosystem components or goods, i.e. countable as (bio)mass unit. In addition, ecosystem services sometimes require human input, which does not necessarily mean human-made constructs like labour, industrial processing, benches or fishing roads. ^a	Generation of material from plants Carbon sequestration Water purification Aesthetic beauty of landscape
Good	Countable as a (bio)mass unit, it is a vehicle for ecosystem service enjoyment.	Wood biomass Amount of CO ₂ retained from the atmosphere Amount of pollutants retained from water bodies
Benefit	What is generated by the service and leads to a change in human well-being.	People enjoying outdoor recreation activities Availability of wood for multiple uses Healthier air to breath/climate change mitigation Availability of cleaner water (instead of water polluted by economic activities)

^a Example of human input includes existence of a human being with his/her sensory and perceptual experiences.

^b Existing literature often uses the term ecological structure as a synonym for biophysical structure. We however prefer the later term, because it also includes non-vegetated structures, such as dunes, aquifers or Rocky Mountains.

Fig. 3. Concepto de cascada (Haines-Young and Potschin-Young, 2018) y definiciones (La Notte et al., 2017)

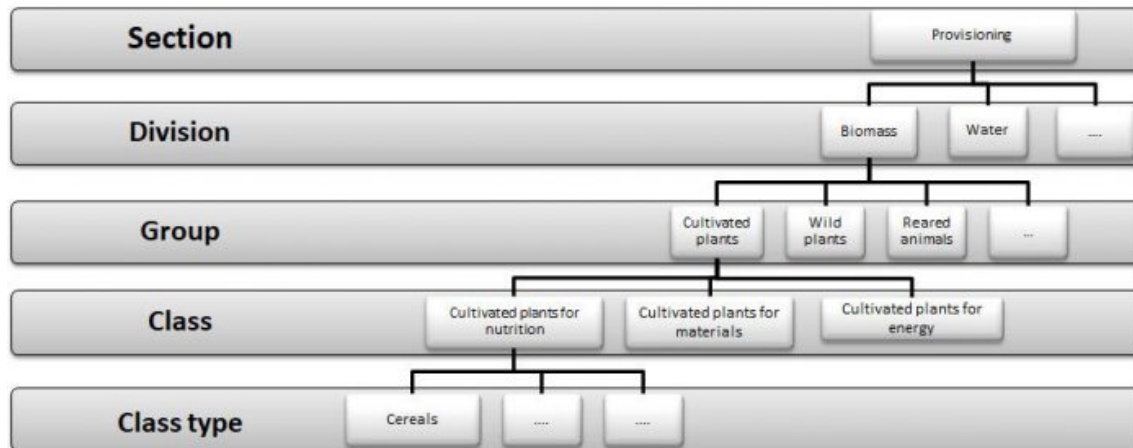
Las clasificaciones actuales enfatizan la naturaleza intencionada de un servicio ecosistémico. Así, cada servicio se define mediante dos partes, una que describe la producción biofísica del ecosistema (es decir, lo que hace el ecosistema) y otra que describe la contribución que aporta a algún beneficio (es decir, cómo se utiliza o disfruta esa producción por parte de las personas).

Este enfoque puede ayudar a distinguir los servicios frente a las estructuras y procesos ecológicos subyacentes. Por ejemplo, el servicio “Animales salvajes (terrestres y acuáticos) para nutrición” se definiría como “especies animales salvajes no domesticadas y sus productos (**cláusula ecológica**) [.....] que pueden ser capturados y utilizados como materia prima para la producción de alimentos” (**cláusula de uso**).

CICES busca clasificar lo que se conoce como **servicios ecosistémicos finales**: contribuciones que los ecosistemas (es decir, los sistemas vivos) aportan al bienestar humano. Son finales en el sentido de que son los resultados de ecosistemas (ya sean naturales, seminaturales o altamente modificados) que afectan más directamente al bienestar de las personas. Así, CICES reconoce que la provisión, regulación y servicios culturales son las principales categorías de los resultados biofísicos del ecosistema, pero no abarca los llamados **servicios de apoyo** originalmente definidos en la Evaluación del Ecosistema del

Milenio pues considera los servicios de apoyo como parte de las estructuras, procesos y funciones subyacentes que caracterizan los ecosistemas.

CICES describe los servicios ecosistémicos mediante una jerarquía de cinco niveles, donde cada nivel es progresivamente más detallado y específico. El alcance de la clasificación es amplio, con el objetivo de incluir todo lo que pueda considerarse de forma realista como un servicio ecosistémico. El funcionamiento puede verse en el diagrama de abajo, que muestra cómo se podrían clasificar los 'cereales'.



El conjunto completo de clases CICES se puede encontrar en la hoja de cálculo que se puede descargar en

https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2025/04/CICES_V5.2_29042025_Final.xlsx La hoja de cálculo proporciona un paso a paso hacia versiones anteriores de CICES y otros sistemas utilizados para clasificar los servicios ecosistémicos.

SEEA-EA <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>. Ofrece una lista de referencia de servicios ecosistémicos seleccionados con sus descripciones asociadas (Table 1). Esta lista incluye tanto servicios finales (utilizados por unidades económicas) como intermedios (utilizados por activos ecosistémicos). En los servicios de regulación y mantenimiento, un único servicio ecosistémico puede ser final o intermedio, dependiendo del contexto. La distinción entre un servicio final y uno intermedio refleja al usuario del servicio, no al servicio en sí.

La estructura de la lista en el nivel más alto abarca tres grandes categorías dentro de las cuales se incluyen varios tipos y algunos subtipos:

- Los servicios de **provisión**, que representan las contribuciones a los beneficios que se extraen o aprovechan de los ecosistemas.
- Los servicios de **regulación y mantenimiento**, que resultan de la capacidad de los ecosistemas para regular procesos biológicos e influir en los ciclos climáticos, hidrológicos y bioquímicos, manteniendo así condiciones ambientales beneficiosas para los individuos y la sociedad.
- Servicios **culturales** son los servicios experienciales e intangibles relacionados con las cualidades percibidas o reales de los ecosistemas cuya existencia y funcionamiento contribuyen a una variedad de beneficios culturales.

Table 1. Lista de referencia SEEA-EA.

https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/documents/EA/seea_ea_online_supplement_ecosystem_services_reference_list_crosswalk_spanish_0.xlsx

SEEA	SEEA (subtipos)	Código o SEEA	Descripción en el SEEA	Clase CICES (v5.1) Common International Classification of Ecosystem Services [Clasificación internacional común de los servicios ecosistémicos]	Código o CICES
Servicios de aprovisionamiento de biomasa	Servicios de aprovisionamiento de madera	1.5	Los servicios de aprovisionamiento de madera son las contribuciones de los ecosistemas al crecimiento de árboles y biomasa leñosa en áreas cultivadas (plantaciones) o en producción no cultivada que son cultivadas por unidades económicas para varios usos incluyendo producciones madereras y energía. Este servicio excluye contribuciones de productos madereros no forestales. Es un servicio final del ecosistema	Fibras y otros materiales procedentes de plantas, hongos, algas y bacterias cultivadas para su uso directo o su transformación (excluidos los materiales genéticos)	1.1.1.2
				Plantas cultivadas (incluyendo hongos y algas) como fuente de energía	1.1.1.3
				Fibras y otros materiales procedentes de plantas silvestre para uso directo o transformación (excluidos los materiales genéticos)	1.1.5.2
	Servicios de aprovisionamiento de animales salvajes, plantas y otra biomasa	1.7	Los servicios de aprovisionamiento de animales salvajes, plantas y otra biomasa son las contribuciones de los ecosistemas al crecimiento de animales y plantas silvestres y otra biomasa que son capturados y recolectados en contextos de producción no cultivados por unidades económicas para diversos usos. El ámbito de aplicación incluye los productos forestales no madereros (PFNM) y los servicios relacionados con las actividades de caza, captura y bioprospección, pero excluye los peces silvestres y otra biomasa acuática natural (incluidos en la clase anterior). Es un servicio ecosistémico final.	Fibras y otros materiales procedentes de plantas silvestres para su uso directo o su transformación (excluidos los materiales genéticos)	1.1.5.2
				Plantas silvestres (terrestres y acuáticas, incluidas los hongos y algas) utilizadas como fuente de energía	1.1.5.3
				Animales salvajes (terrestres y acuáticos) utilizados con fines nutricionales	1.1.6.1
				Fibras y otros materiales procedentes de animales silvestres para su uso directo o su transformación (excluidos los materiales genéticos)	1.1.6.2
				Animales salvajes (terrestres y acuáticos) utilizados como fuente de energía	1.1.6.3
				Plantas silvestres (terrestres y acuáticas, incluidas los hongos y algas) utilizados para la nutrición	1.1.5.1
				Plantas superiores e inferiores (organismos enteros) utilizadas para la obtención de nuevas cepas o variedades	1.2.1.2
				Genes individuales extraídos de plantas superiores e inferiores para el diseño y la construcción de nuevas entidades biológicas	1.2.1.3
				Material animal recogido con el fin de mantener o establecer una población	1.2.2.1
				Animales salvajes (organismos enteros) utilizados para criar nuevas cepas o variedades	1.2.2.2
				Genes individuales extraídos de organismos para el diseño y la construcción de nuevas entidades biológicas	1.2.2.3
Suministro de agua		1.9	Los servicios de suministro de agua reflejan las contribuciones combinadas de los ecosistemas a la regulación del flujo de agua, la purificación del agua y otros servicios de los ecosistemas para el suministro de agua de calidad adecuada a los usuarios para diversos usos, incluido el	Regulación del estado químico de las aguas dulces mediante procesos vivos	2.2.5.1
				Agua superficial potable	4.2.1.1
				Agua superficial utilizada como material (fines no potables)	4.2.1.2
				Agua superficial de agua dulce utilizada como fuente de energía	4.2.1.3
				Aguas costeras y marinas utilizadas como fuente de energía	4.2.1.4

			consumo doméstico. Es un servicio final del ecosistema.	
--	--	--	---	--

Para garantizar que la cobertura de las cuentas ecosistémicas sea lo más completa posible, se anima a los compiladores a incluir la mayor cantidad posible de tipos de servicios ecosistémicos.

4.4. La contabilidad en el SEEA-EA

Activo ecosistémico. La lógica central del marco contable de ecosistemas se basa en la definición de un activo ecosistémico. La etiqueta "activo ecosistémico" se refiere a las unidades estadísticas espacialmente definidas que componen el conjunto de ecosistemas que determinan el alcance de las cuentas (desde la perspectiva espacial); a las unidades funcionales ecológicas que son el foco de la medición y evaluación biofísica (desde la perspectiva ecológica); a las unidades de suministro o producción que proporcionan servicios ecosistémicos y beneficios asociados (desde la perspectiva del beneficio social); a los activos que son reservas de valor futuro (desde la perspectiva del valor del activo); y a las entidades que tienen un estatus propio o que pueden estar vinculadas a unidades legales, sociales e institucionales existentes (desde la perspectiva de la propiedad institucional). Los **activos ecosistémicos** son **espacios contiguos cubiertos por un tipo específico de ecosistema caracterizado por un conjunto distinto de componentes bióticos y abióticos con interacciones**. En el caso de este manual, es equiparable a la Unidad de Acuación básica, con contigüidad territorial, homogénea en cuanto a la estructura de la vegetación, la etapa de sucesión y los principales factores abióticos del sitio que son relevantes para el crecimiento de las plantas (ecotopo).

Área de contabilidad. Un conjunto de cuentas de ecosistemas abarca los activos ecosistémicos dentro de un **área de contabilidad** EAA (ecosystem account area) definida. La **EAA** es el **territorio geográfico para el cual se compila una cuenta ecosistémica**. Una EAA puede definirse, por ejemplo, por una frontera de país, un área administrativa subnacional, una cuenca hidrográfica o un área protegida. Dentro de una EAA, los activos ecosistémicos reflejan diferentes **tipos de ecosistemas**, cada uno con su propia estructura, función, composición y procesos ecológicos asociados. En el caso de este manual, es equiparable a la Unidad de Gestión para la que se realiza el Plan: un monte, cuenca u otra entidad biofísica o administrativa donde pueden existir distintos rodales, ecosistemas, ecoseries (homogéneos en cuanto a las condiciones abióticas del sitio que son relevantes para el crecimiento de las plantas) o ecotopos.

La información sobre los tipos de ecosistemas se reflejará en las medidas de extensión y condición del ecosistema. La extensión del ecosistema es el tamaño de un activo ecosistémico. Se mide con mayor frecuencia en términos de área. La condición del ecosistema es la calidad de un ecosistema medida en términos de sus características abióticas y bióticas.

Así, en la estructura del SEEA-EA, los activos ecosistémicos proporcionan un conjunto de SEs que reflejan diversas características y procesos ecosistémicos, así como el tipo de ecosistema, la extensión, la condición y la ubicación del activo, y los patrones de uso por parte de las unidades económicas (incluidos hogares, empresas y gobiernos). Los servicios ecosistémicos son las contribuciones de los ecosistemas a los beneficios utilizados en la economía y otras actividades humanas. En esta definición, el uso incluye el consumo físico directo, el disfrute pasivo y el uso indirecto.

Los beneficios son bienes y servicios que, en última instancia, son utilizados y disfrutados por individuos y la sociedad. Los beneficios a los que contribuyen los SEs pueden reflejarse en las medidas actuales de producción (por ejemplo, alimentos, agua, energía, recreación) o pueden

estar en estas medidas (por ejemplo, agua limpia, aire limpio, protección contra inundaciones). (Fig. 4).

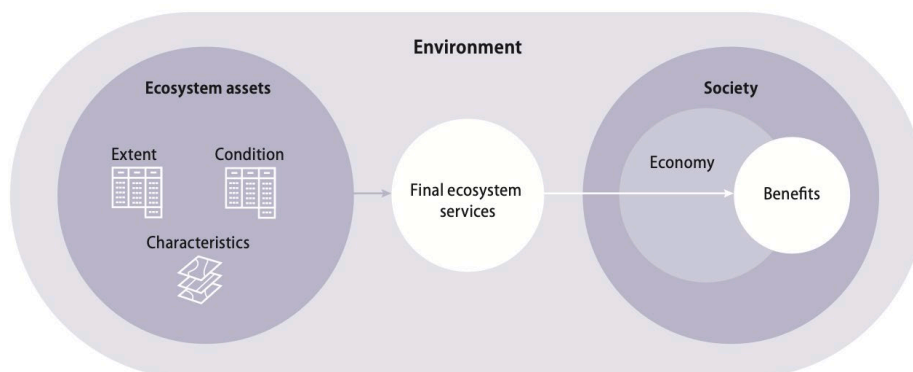


Fig. 4. Estructura del SEEA-EA para elaborar las cuentas de ecosistema (United Nations, 2025)

El SEEA-EA es un sistema concebido y construido como una serie integrada y coherente de cuentas que se estructura en cuatro grandes tipos de cuentas (Fig. 5). Una cuenta de Servicios Ecosistémicos es una tabla estructurada que muestra:

- Qué servicios produce el ecosistema
- En qué cantidad (unidades físicas)
- Para quién (sectores o beneficiarios)
- Opcionalmente, qué valor monetario tienen
- En qué periodo de tiempo

Los Tipos de cuentas de SE del SEEA-EA son:

- Cuenta física de la oferta de SE. Mide cuánto servicio genera el ecosistema. Responde a: ¿Qué produce el ecosistema?
- Cuenta de uso / beneficiarios. Relaciona el servicio con quien lo recibe. Responde a: ¿Quién se beneficia?
- Cuenta monetaria (si procede). Solo si se ha realizado una valoración económica. Responde a: ¿Qué magnitud económica aproximada representa?

Estructurarlo así permite integrar la información en informes oficiales, justificar inversiones públicas, comparar escenarios de gestión y detectar pérdidas de capacidad ecosistémica. Sin estructura contable, solo se tendrían indicadores sueltos. Es decir, frente a un simple estudio técnico donde se calculan indicadores y describen los resultados, una cuenta de SE organiza los datos bajo una lógica contable, permitiendo un seguimiento temporal, compatible con el sistema estadístico oficial y que por tanto facilita integración con cuentas económicas

Debe permitir comparar años y territorios, y analizar cambios por gestión. Al mismo tiempo, este diseño permite implementar el SEEA-EA tanto en su conjunto como en partes, es decir, la implementación del sistema puede ser flexible y modular. De hecho, el desarrollo progresivo y escalonado del alcance y el detalle de las cuentas del ecosistema es una estrategia de implementación adecuada.

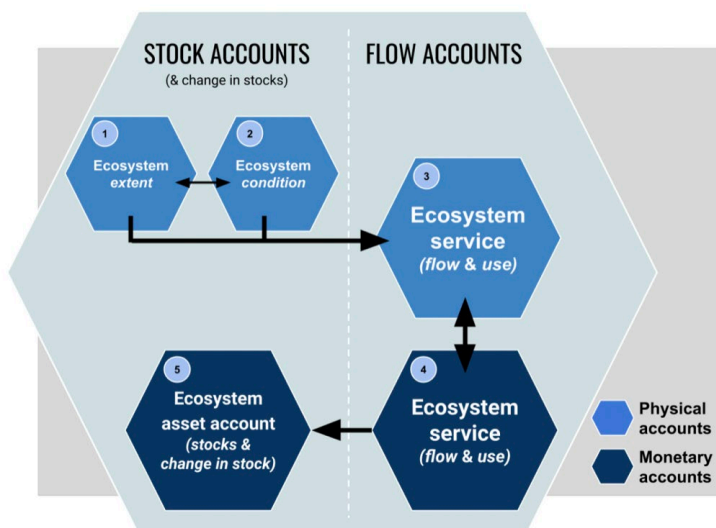


Fig. 5. Cuentas de ecosistema y relaciones entre ellas (United Nations, 2025)

En la medición de existencias (stocks), las entradas se refieren a una unidad de medida (por ejemplo, área total o volumen total) en un momento determinado. En la medición de flujos, las entradas se refieren a una unidad de medida por unidad de tiempo (por ejemplo, metros cúbicos por año). La unidad de tiempo adecuada dependerá de la duración seleccionada del periodo contable.

SEEA-EA refleja la integración de los conocimientos, métodos y técnicas más recientes en la medición de ecosistemas. No obstante, no sustituye a la planificación forestal, ni es un modelo ecológico ni exige monetizar todos los servicios; es un marco contable, no una herramienta de gestión directa. Es relevante para los bosques mediterráneos porque permite:

- Visibilizar servicios no de mercado (protección del suelo, incendios, agua)
- Justificar gestión activa frente al abandono
- Evaluar impactos de la gestión forestal en el tiempo
- Conectar la gestión forestal con políticas climáticas, hídricas y territoriales

En bosques mediterráneos, el foco suele estar en cuentas físicas robustas, y la monetización solo cuando aporta valor real a la decisión. No obstante, se reconoce que existen desafíos en la implementación e interpretación que requerirán atención continua en los años siguientes.

4.5. Encaje en la planificación y gestión forestal

El propósito de la contabilización de los SE, tal como se plantea en este manual, es su integración en un plan técnico de gestión forestal cuyo objetivo sea la conservación y/o mejora de determinados SE.

El plan de gestión puede comenzar con una fase previa de identificación y diagnóstico de los SEs de interés o, por el contrario, arrancar directamente con la parte técnica de la descripción del proyecto si los SE ya están identificados. El Plan contendrá el tipo de proyecto, las superficies y masas afectadas por el mismo, los objetivos de gestión, y detallará las actividades de gestión específicas que mantendrán o mejorarán los beneficios en los SE a lo largo del tiempo, con un plan cronológico de las operaciones clave del proyecto. Incluye los insumos y recursos necesarios, así como un análisis financiero completo. Acompañan planos y mapas claros y en consonancia con las normas cartográficas, que indican el límite exterior, las masas forestales, las infraestructuras, etc.

El Plan de gestión se actualizará periódicamente cada número determinado de años hasta su fin. Deberá demostrar su encaje en los objetivos generales de la planificación forestal

estratégica de la región, de acuerdo con estrategias, planes o documentos de mayor jerarquía ya establecidos. También ha de incluir las intenciones e itinerario de gestión a largo plazo, más allá de la duración del proyecto.

5. ENFOQUE METODOLÓGICO OPERATIVO

5.1. Principios básicos de la contabilidad de SE

Según se recoge en el marco del SEEA-EA, la contabilidad de ecosistemas debe integrar datos referenciados espacialmente (ubicación, tamaño y estado de los ecosistemas dentro de un área determinada) y su cambio con el tiempo.

Activos ecosistémicos (Unidades de Actuación)

La delimitación en **unidades espaciales (Activos ecosistémicos)** en el SEEA-EA debe corresponder a espacios contiguos de un tipo específico de ecosistema caracterizados por un conjunto distinto de componentes bióticos y abióticos y sus interacciones. Estos activos son unidades estadísticas, a la vez que entidades ecológicas, sobre las que se busca información: extensión, condición, servicios ecosistémicos proporcionados y su valor monetario. Cada activo ecosistémico se clasifica en un **tipo de ecosistema**, que refleja un conjunto distinto de componentes abióticos y bióticos y sus interacciones. Los resultados estadísticos de la contabilidad de ecosistemas se presentan comúnmente en forma de tabla, donde los datos sobre los activos ecosistémicos se agrupan según el tipo de ecosistema, o en forma de mapas, donde se reflejan los activos individuales del ecosistema y se puede mostrar la configuración y la ubicación de diferentes tipos de ecosistemas.

Tipos de ecosistemas

La clasificación de referencia de tipos de ecosistemas en el SEEA establece varios niveles (1 a 6) siguiendo la metodología de Keith et al., (Keith et al., 2022)) para asegurar que la compilación de datos sea comparable según un conjunto comúnmente acordado de tipos de ecosistemas. El nivel 1 aplicable en este manual para bosques es el de los ecosistemas terrestres y, dentro del nivel 2, los biomas T2 (Temperate – boreal forests and woodlands), T3 (Shrublands and shrubby woodlands) y T4 (Savannas and grasslands) son los más acertados.

El tercer nivel habla de grupos funcionales de ecosistemas dentro de un bioma, cuya delimitación más práctica, en el caso de España, son los tipos estructurales de masa definidos en el Mapa Forestal de España (MFE), editado por la D.G. de Biodiversidad, Bosques y Desertificación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. El MFE es la cartografía básica forestal a nivel estatal que recoge la distribución de los ecosistemas forestales españoles mediante metodologías de fotointerpretación y de campo. Es la base cartográfica del Inventario Forestal Nacional (IFN), y por tanto, tiene carácter continuo y una periodicidad de actualización al menos decenal. Entre los campos de información para cada tesela del territorio están el Tipo de bosque (coníferas, frondosas o mixto) y el Tipo Estructural (distintas estructuras de vegetación zoonales e intrazonales).

Ecohidrovoxel

El SEEA-EA concibe los **activos ecosistémicos** como espacios tridimensionales que incluyen componentes abióticos y bióticos que interactúan directamente. Esta concepción se ajusta al concepto de ecohidrovoxel (del Campo et al., 2022). Según estos autores, para una mejor identificación de los procesos, servicios generados y objetivos de gestión, el bosque se puede conceptualizar como un volumen de suelo-planta-atmósfera o ecohidro-vóxel (EHV) (Fig. 6) con distintos compartimentos que van desde la roca madre y el saprolito hasta la capa límite de la parte superior del dosel (pasando por suelo profundo, mantillo, troncos, estrato

arbustivo, copas, etc.). Cada compartimento tiene un volumen con unos rangos de existencias (ej. biomasa, estado hídrico en mm, etc.) y de flujos (ej. tasas de evaporación mm/día), tanto internos como hacia el exterior del EHV que pueden resultar de mayor o menor interés. Por ejemplo, servicios de provisión y regulación hídrica como la recarga de acuíferos, el mantenimiento de caudales mínimos de estiaje, el control de la escorrentía superficial, la retención de agua por la vegetación (que contribuye a un menor riesgo de incendio y a una menor afección por sequía meteorológica), o el efecto refrigerante del bosque, etc. nos llevarán a focalizar la gestión hacia unos compartimentos u otros del EHV (Fig. 6).

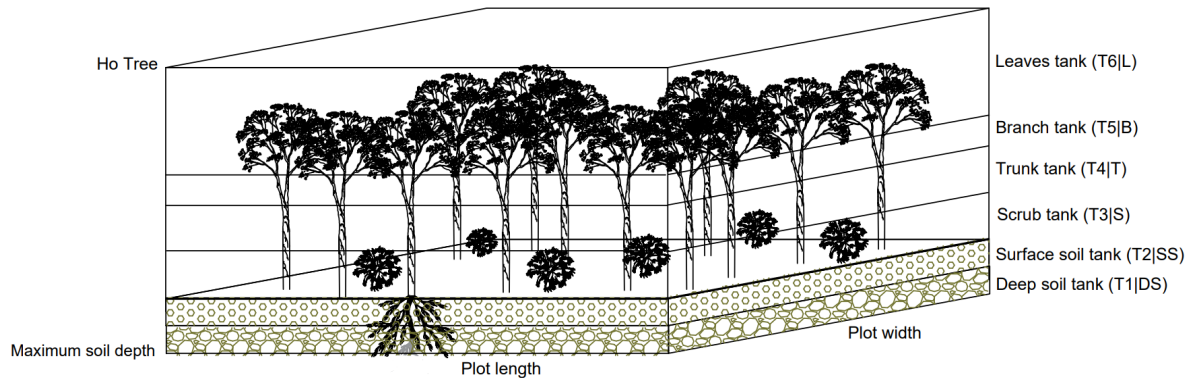


Fig. 6. Representación teórica del **activo ecosistémico** como un EHV con seis tanques (suelo profundo, suelo superficial, matorral, tronco, ramas gruesas y copas). La parcela es de 50x50 metros y la altura del cubo va desde la profundidad máxima del suelo hasta la altura dominante de los árboles. Fte.: del Campo et al., (2022)

Sobre esta unidad espacial básica de EHV se puede fundamentar la contabilidad de ecosistemas en base al concepto de **área de evaluación de ecosistemas** (EAA) contemplada en el SEEA-EA, que no es otra cosa que el territorio geográfico para el que se compila una cuenta de ecosistemas (ej. una cuenca o un monte). Una EAA determina qué activos ecosistémicos (correspondientes a diferentes tipos de ecosistemas) se incluyen en una cuenta ecosistémica y proporciona un límite contable alrededor de un conjunto de activos ecosistémicos, de modo que la suma de las áreas de los activos ecosistémicos es igual al área total delimitada por el EAA.

5.2. Escalas de trabajo (rodal, monte, comarca, región)

Aunque el SEEA-EA ha sido diseñado para aplicarse a escala nacional e incluir varios tipos de ecosistemas y múltiples servicios ecosistémicos (en analogía a la aplicación general de las cuentas nacionales de actividades en un territorio económico), también reconoce su aplicación a enfoques más locales. Por ejemplo, puede aplicarse a un único activo ecosistémico o tipo de ecosistema (p. ej., bosque) con un único servicio ecosistémico (p. ej., regulación del agua) o con múltiples servicios ecosistémicos. Igualmente, puede usarse para múltiples tipos de ecosistemas y un único servicio ecosistémico. Resalta que, en la medida en que los proyectos individuales utilicen estas cuentas, será posible integrar los datos en un marco contable común de los ecosistemas.

Puesto que los principios contables son independientes de la escala, las unidades espaciales EAA se pueden mostrar como una combinación de diferentes activos ecosistémicos (EA1, EA2, ...) ubicados dentro de una EAA. Cada activo ecosistémico se clasifica en un tipo de ecosistema diferente (ET1, ET2, ...ET4). Un único activo de ecosistema puede asignarse únicamente a un tipo de ecosistema (ET), pero puede haber múltiples ocurrencias de un mismo ET dentro de una EAA. Estas relaciones pueden presentarse en forma tabular o mapeada (Fig. 7).

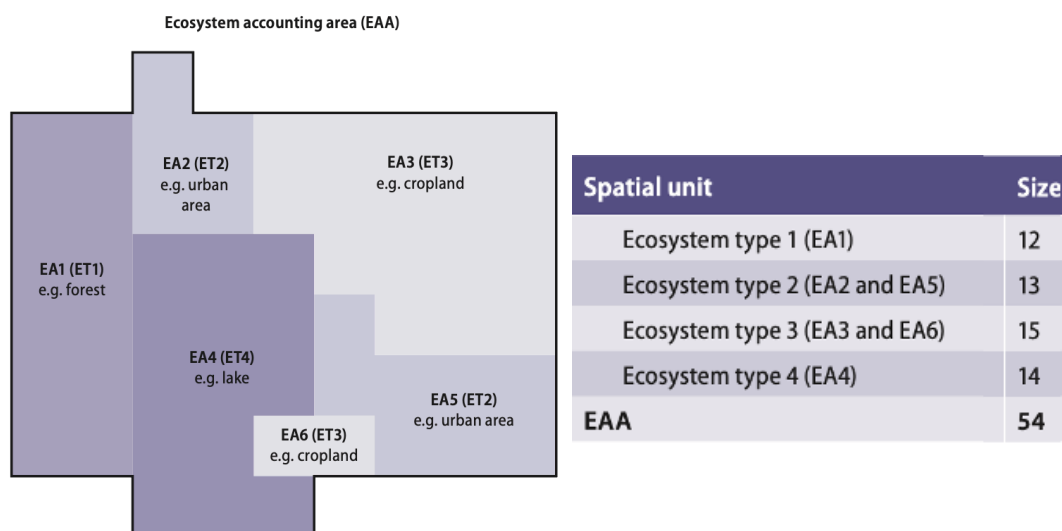


Fig. 7. Relaciones entre activos y tipos de ecosistema según el SEEA-EA (United Nations, 2025)

Por tanto, la escala de trabajo, ya sea rodal, monte, comarca o región, es adaptable a estos principios donde cada área de evaluación (EAA) puede estar formada por uno o varios tipos de ecosistemas representados espacialmente por una o varias unidades o activos que son evaluados y tratados bajo la perspectiva del EHV.

Los tipos de ecosistemas dentro de una EAA rara vez muestran límites claros fácilmente identificables. Para la delimitación práctica de un número apropiado de tipos de ecosistemas, debe encontrarse un equilibrio entre la resolución de la delimitación, la disponibilidad de datos y los requisitos analíticos. La recomendación general es que, para una cuenta dada del ecosistema, se debe seleccionar una única resolución espacial de análisis y, en consecuencia, un activo ecosistémico no se delimitará a menos que su área sea lo suficientemente grande como para que sea identificable a esa resolución.

Otros aspectos como los ecosistemas lineales (ríos) y los mosaicos necesitan también especial atención. El SEEA-EA provee unos principios generales para la delimitación de los activos ecosistémicos. En el contexto de este manual, el límite espacial de la EAA normalmente será una división administrativa asociada a un **proyecto o plan de gestión forestal sostenible**. Este límite puede ser continuo o incluir distintas unidades separadas espacialmente, pero dentro de un mismo territorio o contexto biogeoclimático. Dentro de estos límites del proyecto se puede zonificar de acuerdo a distintos estratos o unidades inventariables, que formarán la unidad básica del proyecto sobre la que recaerá la contabilidad (EHV).

5.3. Horizonte temporal y escenarios

Los límites temporales de la contabilización son flexibles en general y estarán dados por las características del proyecto y el marco contable (MRV), ateniéndose, en su caso a lo establecido en normativas o reglamentos (como el caso del 2024/3012), donde se establezcan periodos de actividad y de seguimiento.

Independientemente del lapso escogido para hacer la contabilidad, todos los cálculos deben expresarse anualmente y agregarse para el total del periodo de actividad/seguimiento. Algunas variables pueden no tener datos anuales y otras pueden estar recopiladas a diferentes resoluciones temporales (minutal, diaria, mensual, etc.), existiendo métodos para interpolar (p. ej., media móvil) o agregar (suma, promedio, etc.) estas observaciones a una unidad temporal común.

Períodos de actividad, seguimiento y responsabilidad

Cuando los horizontes temporales son a futuro y hay cálculos ex-ante como ocurre en la mayoría de los proyectos forestales de certificación, se establecen **períodos de actividad, seguimiento y/o permanencia**. Esto ocurre con muchos servicios ecosistémicos como el carbono, que están expuestos al riesgo de liberación o deterioro por la posibilidad de eventos naturales y/o antropogénicos (incendio, climático, etc.) a lo largo del tiempo, y que pueden causar la pérdida del servicio generado. Para tener en cuenta este riesgo en los esquemas de certificación, se suele establecer una fecha de caducidad que coincida con el final del período de seguimiento o de certificación. El operador deberá demostrar que la mejora o persistencia de los servicios ecosistémicos evaluados y cuantificados está garantizada durante el periodo analizado, que se controlan y mitigan los riesgos y que se está sujeto a mecanismos de responsabilidad para hacer frente a cualquier imprevisto que se produzca durante el período de seguimiento y permanencia.

Algunas de las medidas preventivas prevén fondos de garantía o de reserva ante cualquier pérdida. Por ejemplo, en un proyecto de secuestro y certificación de carbono, la absorción neta certificada se considerará liberada a la atmósfera al final del período de seguimiento, a menos que haya una re-certificación y el operador demuestre el mantenimiento del almacenamiento de carbono mediante actividades de seguimiento ininterrumpidas. Por defecto, se toma como periodo de seguimiento o permanencia contractual la vigencia del plan técnico de gestión forestal (ej. 20 años en los planes técnicos de Gestión Forestal Sostenible, aunque podría ser mayor). Además, conviene considerar siempre la referencia temporal correspondiente al turno o ciclo de las especies forestales consideradas en el proyecto, independientemente de que este periodo exceda el marco temporal contractual.

6. FASE I. DIAGNÓSTICO. PASO 1. IDENTIFICACIÓN DE SE: DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA FORESTAL

Previamente a este punto se ha debido establecer la finalidad del proyecto (planificación, certificación, solicitud de ayudas, evaluación de proyectos, etc.). En el caso de un Plan Técnico de Gestión de mejora o promoción de SEs asociado a una certificación y obtención de créditos, la información preliminar incluirá, entre otros **información básica o de resumen** como:

- Título, equipo redactor, fecha de redacción
- Tipo de proyecto, ámbito territorial y nivel de detalle requerido
- Conformidad con la normativa aplicable
- Elegibilidad y cumplimiento de las exigencias de la entidad certificadora.
- El periodo temporal de referencia: fechas clave del proyecto (inicio y fin de actividad), definición de periodos de actividad y de seguimiento o monitoreo.

Además, se incluye en este primer punto la descripción legal, administrativa y de parcelación:

- Titular del plan, propietario/a y gestor/a de las fincas/montes
- Compromiso de los propietarios de la tierra y de los gestores de proyectos
- Unidades de actuación o superficies en las que se puede actuar de forma homogénea.
- Correspondencia entre unidades catastrales, registrales y de actuación.

La delimitación espacial deberá realizarse mediante **criterios cartográficos y administrativos verificables**, apoyándose en información geográfica oficial disponible. Entre las fuentes de referencia más habituales se encuentran la cartografía forestal oficial, los límites catastrales o administrativos, los mapas de usos del suelo y las capas temáticas derivadas de evaluaciones forestales o ambientales.

El resultado clave de este punto será la **identificación de los SE** existentes y potenciales del área que podrían ser objeto del Plan. Esto será gracias a la caracterización de la tipología forestal y su superficie y el análisis del estado del ecosistema (estructura, densidad, presiones) y el régimen de gestión existente. Los resultados se sintetizarán en una **tabla de extensión** y una **tabla de condición del EAA o sistema forestal** (Tabla de Condición I) objeto de análisis.

Aunque los objetivos del Plan ya estén definidos y las actividades de gestión forestal identificadas, este punto debe cubrir en cualquier caso una caracterización biofísica y socioeconómica del área de estudio a nivel de contexto (ecoregión, comarca) y de monte o área de actuación, con subdivisión de ésta en ecotopos o ecosistemas tipo (Ecotopos: una unidad espacial homogénea en cuanto a la estructura de la vegetación, la etapa de sucesión y los principales factores abióticos del sitio que son relevantes para el crecimiento de las plantas (Klijn y Haes, 1994)).

6.1. Definición del ámbito de análisis y caracterización biofísica-socioeconómica

El primer paso para la identificación y la posterior contabilización de los SE consiste en definir con claridad y precisión el **ámbito espacial de análisis**. Esta delimitación establece el marco territorial en del que se evaluarán los ecosistemas forestales, sus características biofísicas y socioeconómicas, así como los servicios que generan. Una definición adecuada del contexto y ámbito espacial resulta esencial para garantizar la comparabilidad de los resultados y la correcta interpretación de las cuentas de servicios ecosistémicos.

El ámbito del instrumento de planificación forestal (plan de ordenación o un plan técnico de gestión) deberá corresponder a una **unidad territorial funcional de gestión o planificación forestal (EAA)**. En muchos casos, esta unidad coincide con un monte público o privado, una unidad de ordenación, una agrupación de montes o una superficie definida dentro del Plan. En otros contextos, especialmente cuando el análisis se vincula a políticas territoriales o ambientales, el ámbito podrá definirse a escalas superiores, como términos municipales, comarcas o unidades hidrográficas.

Deberá realizarse una caracterización de los aspectos biofísicos y socioeconómicos del medio en el ámbito de análisis, a fin de identificar una **lista preliminar de SE** potenciales del territorio, sobre la cual, en la etapa posterior, se delimitarán la vocación, los objetivos y el enfoque general que deberá tener el plan de gestión y contabilización de los SE. También este análisis ayuda a seleccionar los indicadores más adecuados para cuantificar los SE.

Utilizando la clasificación jerárquica de Definiciones de Klijn & Haes (1994), se deben abordar dos/tres escalas de estudio del medio

- Definición del marco o límites biogeográficos del proyecto
- **Ecorregión: Regiones biogeográficas homogéneas** a escalas muy grandes con características climáticas, geológicas y geomorfológicas semejantes.
- **Paisaje o cuenca (Ecodistrito – Ecosección):** Unidades espaciales homogéneas en cuanto a características geológicas y geomorfológicas donde podemos distinguir **unidades fisiográficas (cuencas)** individualizadas que ostentan **mesoclimas** y **clases de vegetación** diferenciadas
- Escala de proyecto: para definir las características o acciones específicas consideradas en el proyecto.
- **Monte o finca** (unidad administrativa) o **sitio, estación forestal o rodal** (unidad ecológica). Se corresponderían con las definiciones y escalas de **Ecoserie, Ecotopo** y **Eco-elementos** según Klijn & Haes (1994).

Como datos generales descriptivos del **medio biofísico y socioeconómico** (Table 2), se recopila información que defina el monte objeto de gestión, tanto en su contexto biogeográfico y socioeconómico como en el interior de sus límites operativos:

- **Atmósfera:** caracterización general del clima y la meteorología, con especial atención a la hidrometeorología (índices e indicadores hídricos y climáticos), evolución de variables climáticas ante escenarios de cambio climático, etc.
- **Gea:** Geología, geomorfología, fisiografía y suelos
- **Hidrología e hidrografía:** Caracterización morfológica de la cuenca/ladera y los cauces, masas y puntos de agua superficial y subterránea, calidad de agua, estados erosivos, sequías hidrológicas, etc. A nivel grosero, se recopilan datos de balance hídrico, reservorios y tanques de interés, cantidad de agua almacenada, áreas de interés ecohidrológico, etc.
- **Subsistema Vegetación.** Vegetación potencial y formaciones actuales, biodiversidad florística del territorio, presencia de especies amenazadas, escenarios cambio climático para la vegetación, ENP, hábitats de interés comunitario, árboles o entornos singulares, fauna, etc. El estado forestal (productividad y existencias, espesuras, clasificación sociológica, métodos de beneficio y tratamientos, dasonomía en vigor, cabidas y usos) se detalla más específicamente en un apartado independiente.
- **Subsistema socioeconómico.** Indicadores socioeconómicos, infraestructuras, usos del suelo actuales y evolución histórica, actividades o usos (cinegéticas, piscícolas, ganaderas, recreativas, etc.), unidades de paisaje (fragmentación, calidad y fragilidad), patrimonio cultural e histórico, etc. Si la gestión de SE implica aspectos ecohidrológicos, conviene recopilar datos relacionados con la gobernanza del agua en el contexto de la cuenca del monte para identificar los riesgos e impactos (tanto positivos como negativos), así como los planes hidrológicos vigentes (o planes respuesta a incidentes relacionados con el agua), derechos sobre el agua, infraestructura hídrica, coste del agua, riesgos, etc.

Asimismo, en esta fase se complementa con la identificación preliminar de los principales **actores o beneficiarios** asociados al territorio, tales como propietarios forestales, administraciones públicas, comunidades locales o sectores económicos vinculados al uso del monte. Aunque el análisis detallado de los beneficiarios se desarrollará en fases posteriores, su consideración inicial permite orientar la identificación de los SEs relevantes.

Table 2. Variables generales descriptivas del medio biofísico y socioeconómico.

Subsistema	Variables
Atmósfera	Meteorología Índices fitoclimáticos Índices de aridez Clima por RCP's
Gea	Geología-litología Fisiografía Taxonomía edáfica Textura
Planta	Vegetación Biodiversidad Estado fitosanitario Perturbaciones Dasometría Gestión
Hidrología	Morfología de la cuenca Agua superficial Agua subterránea Calidad del agua
socio-Económico	Población beneficiaria

Política
Figuras de protección
Valor paisajístico

La definición del ámbito de análisis deberá quedar **documentada de forma explícita para cada subsistema**, incluyendo los límites espaciales, la escala de trabajo y las fuentes de información utilizadas. Esta documentación garantiza la transparencia del proceso y permite reproducir el análisis en futuras actualizaciones o en otros territorios con características similares.

La superficie y la distribución de los ecosistemas (bosques, matorral, humedales, etc.) se detallan mediante **tablas de extensión del ecosistema**, que establecen y registran los cambios en el tipo de ecosistema a lo largo del tiempo.

De esta caracterización se obtienen una **identificación de los SE** de interés según lo establecido en el punto 4.1 hasta el nivel apropiado.

6.2. Estado forestal: cuenta de extensión

La **caracterización básica del subsistema forestal** deberá definir los límites espaciales y describir la tipología forestal. Esta caracterización permitirá identificar las principales formaciones forestales, su estructura, estado de conservación y contexto ecológico general. Habrá que recopilar la información disponible procedente de inventarios y bases de datos oficiales. Las fuentes habituales son el IFN, mapa forestal, así como instrumentos del régimen de gestión/ordenación existente. Entre los elementos que conviene describir se incluyen, al menos, los siguientes:

- Tipos de formaciones forestales predominantes.
- Superficie forestal total y distribución por tipos de cubierta.
- Principales especies arbóreas y estructura de la masa.
- Régimen de perturbaciones relevantes (incendios, sequías, plagas).
- Usos y aprovechamientos forestales existentes.

El resultado será la caracterización forestal del monte mediante las llamadas **cuentas de extensión del bosque**, que establecen la superficie y la distribución de las principales formaciones forestales y registran los cambios en el tipo a lo largo del tiempo. Su estructura de filas adaptada a un periodo de tiempo (periodo de contabilidad considerado) puede reflejar una extensión de apertura, una extensión de cierre y añadidos y reducciones de extensión. Las unidades de medida para las entradas son las unidades de área apropiadas para la escala de análisis; por ejemplo, hectáreas o lineales para ecosistemas lineales. Los encabezados de las columnas corresponden a las clases o tipos de ecosistemas dentro de la EAA (Table 3).

Table 3. Cuentas de extensión del bosque para distintas tipologías de uso del suelo forestal: Cultivo herbáceo, Prado, Combinación de cultivos y vegetación, Bosque frondoso, Bosque coníferas, Bosque mixto, Pastizal o herbazal, Matorral, Combinación de vegetación, Roquedo y Suelo desnudo, etc.

	Valor	Pinar fustal	Prado	Matorral	Bosque frondosas	TOTAL
Apertura						
Cierre						

6.3. Estado forestal: cuenta de condición del ecosistema I: estado básico

La finalidad de este punto es conocer la condición del ecosistema y de los activos ecosistémicos en lo relativo a su estado ecológico (estructura, funcionalidad, presión, degradación) y, en su caso, a su estado forestal.

La cuenta de condición del ecosistema organiza datos sobre **características seleccionadas del ecosistema**. Según el SEEA-EA, la condición de un activo ecosistémico se interpreta como el conjunto de múltiples **características ecosistémicas relevantes**, que se miden mediante conjuntos de **variables e indicadores** utilizados, a su vez, para compilar las cuentas. Las variables e indicadores se seleccionan en relación con el contexto y propósito de la evaluación. A su vez, los indicadores individuales pueden agregarse para formar índices compuestos que proporcionan una síntesis de la integridad, la salud o la naturalidad de un activo ecosistémico y de sus cambios a lo largo del tiempo. Según la disponibilidad de datos, las variables de condición se deben registrar, idealmente, para cada activo del ecosistema, generando tablas contables para cada activo ecosistémico individual (rodal o unidad de actuación).

La relación entre la condición del ecosistema y la provisión de servicios ecosistémicos es central y se abordará en el paso de priorización de SEs.

Características

Las **características** del ecosistema son las propiedades de sus principales componentes abióticos y bióticos (agua, suelo, topografía, hidrología, vegetación, biomasa, hábitat y especie) que pueden usarse para describir el comportamiento típico a largo plazo de un ecosistema. Estas características abarcan atributos que podrán relacionarse, para cada activo del ecosistema, con la provisión de SEs, como componentes, estructura, procesos, funcionalidad, etc. Las características del ecosistema pueden ser estables en la naturaleza (por ejemplo, tipo de suelo o topografía) o ser dinámicas como resultado tanto de procesos naturales como de la actividad humana. En el punto previo de la descripción del medio biofísico y socioeconómico, ya se ha identificado un buen número de ellas.

La evaluación de la condición se basará en características que puedan mostrar un cambio de dirección a lo largo de periodos contables consecutivos de manera científicamente sólida y que guarden relación con las funciones ec hidrológicas fundamentales sobre las que se basará la provisión de SE. Estas funciones pueden ser las siguientes:

- Regulación y provisión hídrica en cantidad, calidad y régimen; control de la erosión
- Secuestro y almacenamiento de carbono
- Prevención y mitigación de incendios
- Producción forestal (madera, biomasa, productos no maderables)
- Servicios culturales y recreativos

El SEEA-EA propone agrupar las características ecosistémicas relevantes en tres grupos y seis subgrupos o clases:

- Grupo A: Características del ecosistema abiótico
 - Clase A1. Características del estado físico: descriptores físicos de los componentes abióticos del ecosistema (por ejemplo, estructura del suelo, disponibilidad de agua)
 - Clase A2. Características del estado químico: composición química de los compartimentos abióticos del ecosistema (por ejemplo, niveles de nutrientes del suelo, calidad del agua, concentraciones de contaminantes atmosféricos)
- Grupo B: Características del ecosistema biótico

- Clase B1. Características del estado composicional: composición/diversidad de comunidades ecológicas en un lugar y momento determinados (por ejemplo, presencia/abundancia de especies clave, diversidad de grupos de especies relevantes)
- Clase B2. Características del estado estructural: propiedades agregadas (por ejemplo, masa, densidad) del conjunto ecosistema o sus principales componentes bióticos (por ejemplo, biomasa total, cobertura del dosel, índice anual de diferencia máxima normalizada de vegetación (NDVI)).
- Clase B3. Características funcionales del estado: estadísticas resumen (por ejemplo, frecuencia, intensidad) sobre las interacciones biológicas, químicas y físicas entre los principales compartimentos del ecosistema (por ejemplo, productividad primaria, edad de la comunidad, frecuencia de perturbaciones)
- **Grupo C:** Características a nivel de paisaje
 - Clase C1. Características del paisaje: métricas que describen mosaicos de tipos de ecosistemas a escalas espaciales gruesas (paisaje, paisaje marino) (por ejemplo, diversidad del paisaje, conectividad, fragmentación)

En contextos más forestales la forma en la que se puede representar y analizar todo el ecosistema se agrupa en los subsistemas Atmósfera, Gea, Hidrológico, Vegetación y socioeconómico. Dentro de cada uno de estos subsistemas se pueden identificar los grupos-clases antes referidos y las variables que sintetizan y representan al ecosistema.

Variables

Las **variables** de condición del ecosistema son métricas cuantitativas que describen características individuales de un activo ecosistémico. La selección de variables puede hacerse según los 12 criterios de Czúcz et al., 2021 usados en el SEEA-EA (Table 4). Los primeros 10 criterios determinan si una variable específica es elegible. Los dos últimos criterios aseguran que el conjunto de variables representará el estado del ecosistema de manera significativa. Como criterios generales se tienen:

- Seleccionar las variables más sensibles al cambio con la menor cantidad posible de variables.
- Las variables cualitativas se miden en una escala ordinal.
- Un conjunto de unos 6 a 10 indicadores bien seleccionados para un tipo dado de ecosistema debería proporcionar suficiente información para evaluar el estado general de un activo ecosistémico.
- Como regla general, para cada tipo de ecosistema se selecciona al menos una variable de cada una de las seis clases del SEEA-EA, a fin de garantizar un nivel mínimo de exhaustividad en el conjunto completo de variables de condición.
- En la práctica, es importante incorporar el conocimiento de los ecosistemas locales.
- La selección de variables y métricas debe basarse en el conocimiento ecológico existente y en los sistemas de monitorización.

Para los biomas T2 y T3 predominantes en los bosque mediterráneos españoles se pueden considerar las siguientes variables:

- T2 Bioma de los bosques y tierras boscosas templados y boreales
 - A1: Contenido de agua de la vegetación (índice de agua de diferencia normalizada (NDWI))
 - A2: Contenido de carbono orgánico del suelo; concentración de contaminantes atmosféricos; concentración de nitrógeno foliar y en la hojarasca
 - B1: Riqueza de especies de árboles; riqueza de especies de líquenes; riqueza de especies de aves,

- B2: Profundidad del mantillo (espesor de la capa del suelo); fracción de cabida de la cubierta forestal; volumen de madera muerta; distribución de clases de edad de los bosques
- B3: Productividad de la materia seca; densidad de árboles con huecos para anidar; presencia de especies de depredadores apicales (funcionalidad de la red alimentaria); índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI); índice de estrés hídrico
- C1: Densidad de la zona forestal; diversidad paisajística; conectividad forestal
- T3 Matorrales y bosques de matorrales
 - A1: Porcentaje de superficie quemada; espesor de la capa del suelo
 - A2: Contenido de carbono orgánico del suelo; concentración de fósforo del suelo
 - B1: Riqueza de especies de aves
 - B2: Densidad de la cubierta forestal
 - B3: Productividad de la materia seca; proporción de especies rebrotadoras después de incendios (capacidad de regeneración)
 - C1: Diversidad paisajística; conectividad monte/bosque

Table 4. Criterios de selección de las características de los ecosistemas y sus parámetros (variables e indicadores). (United Nations, 2025). Nota: En Czúcz y otros (2021b), se recoge el detalle de los criterios.

Criterio	Breve descripción
Criterios conceptuales	
Pertinencia intrínseca	Las características y los parámetros deben reflejar el entendimiento científico existente de la integridad ecosistémica, respaldado por la bibliografía de la esfera ecológica
Pertinencia fundamental	Las características y los parámetros deben estar relacionados con la disponibilidad de servicios ecosistémicos (se debe mostrar preferencia por las características que ejercen la mayor influencia en los servicios de mayor prioridad)
Significado direccional	Las características y los parámetros deben tener un potencial de interpretación consensuada; en otras palabras, debe estar claro si un cambio es favorable o desfavorable con respecto a la integridad ecosistémica
Sensibilidad a la influencia humana	Las características y los parámetros deben ser capaces de responder a los factores socioecológicos clave conocidos (presiones fundamentales u opciones de gestión)
Conformidad con el marco	Las características y los parámetros deben diferenciarse de otros componentes del marco de la contabilidad de los ecosistemas del SCAE
Criterios prácticos	
Validez	Los parámetros tienen que representar las características que abordan de una manera creíble e imparcial
Fiabilidad	Los parámetros tienen que ser precisos, fiables y reproducibles, explorándose y documentándose las posibles fuentes de error
Disponibilidad	Los parámetros que abarcan las extensiones espaciales y temporales estudiadas con la resolución requerida deben ser factibles en lo que respecta a los recursos y el tiempo disponibles
Simplicidad	Los parámetros deben ser tan simples como sea posible
Compatibilidad	Las mismas características deben medirse con los mismos parámetros (compatibles) en los distintos tipos de ecosistemas o en las distintas áreas de contabilidad de los ecosistemas (países)
Criterios de conjunto (para todo el conjunto de variables e indicadores)	
Integridad El conjunto final de parámetros, en su totalidad, debe cubrir todas las características pertinentes del ecosistema, proporcionando un conjunto de mediciones complementario	
Concisión	El conjunto final de parámetros de la condición del ecosistema debe estar exento de variables redundantes (correlacionadas)

El registro de variables en esta **cuenta de condición I** refleja un enfoque explícitamente neutral, ya que cada entrada no se compara con una línea base y no hay juicio implícito sobre la importancia relativa; por ejemplo, las entradas no pueden interpretarse como altas, medias

o bajas. Dado que no se incorpora información en la cuenta sobre la interpretación de los datos, el enfoque al utilizar los datos en esta cuenta debería centrarse en monitorizar e informar sobre el cambio de variables a lo largo del tiempo.

Para tener en cuenta el carácter espacialmente explícito de la condición del ecosistema, los valores registrados en una cuenta de variables de condición del ecosistema deben calcularse como la media aritmética ponderada por área de los activos ecosistémicos pertenecientes al tipo de ecosistema particular dentro del área de evaluación EAA.

Indicadores de condición

Los **indicadores de condición** del ecosistema son versiones reescaladas de las variables de condición del ecosistema. Los valores de cada variable se transforman en valores en una escala adimensional común. La conversión más sencilla calcula el indicador aplicando una transformación lineal: $I = (V - VL) / (VH - VL)$, donde I es el valor del indicador, V es el valor de la variable, VH es el nivel de referencia superior (alto) (el valor de la variable de condición relacionada con el punto superior de la escala del indicador) y VL es el nivel de referencia inferior (es decir, el valor de la variable en el punto final inferior de la escala).

Los resultados se sintetizarán en una **tabla de condición del sistema forestal**, cuya escala espacial puede estar entre el **EAA** objeto de análisis en global o por formación-ecosistema o activo-unidad de actuación (según disponibilidad de datos, Ej. Pinar fustal). En la Table 5 se presenta la estructura de una cuenta estilizada de la condición del ecosistema que registra los índices de apertura y cierre al inicio y al final de un periodo contable para un tipo de ecosistema y los cambios en esos índices según el tipo de característica de la condición.

Table 5. Tabla ejemplo del SEEA-EA de condición del ecosistema forestal (escala espacial variable según información disponible) (United Nations, 2025).

Grupo	Clase	Variable	Unidad	Valores (observados) de la variable		
				Apertura	Cierre	Cambio
Características abióticas	Estado físico	Contenido de agua en la vegetación - Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)	Índice (-1 to 1)	0.31	0.29	-0.02
	Estado químico	Stock de carbono orgánico en el suelo	tC/ha	100	95	-5
		Concentración de nitrógeno foliar o en la hojarasca	mg N / g peso seco	18	17	-1
Características bióticas	Estado de composición	Riqueza de especies arbóreas	número	6	5	-1
	Estado estructural	Cobertura forestal	%	81	75	-6
	Estado funcional	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	Índice (-1 to 1)	0.65	0.63	-0.02
Características de paisajes		Densidad de la zona forestal	%	74	59	-15

6.4. Fuentes de información disponibles (IFN, cartografía, SIG)

El uso de cartografía digital georreferenciada facilita la integración de información biofísica, socioeconómica y de gestión necesaria para la evaluación posterior de los servicios ecosistémicos.

7. PASO 2. SELECCIÓN DE SE: VOCACIÓN DEL BOSQUE Y DEFINICIÓN DE OBJETIVOS GENERALES

En este paso se evalúa la vocación de la EAA y sus ecosistemas (usos del suelo o formaciones) para los SE candidatos identificados en el primer punto. Se **fundamenta en una valoración global de las distintas funciones y procesos ecohidrológicos y socioeconómicos directamente relacionados con dichos SE**. Así, a partir del análisis integrado de los distintos subsistemas del territorio y de las preferencias de las partes interesadas, se establece la **vocación del monte** para los distintos SE y, con ello, se fijan objetivos generales para la gestión forestal del territorio en su conjunto.

No todos los activos o ecosistemas tienen la misma vocación para producir un recurso o SE dado. Por este motivo, es necesario valorar las **características socio-ecosistémicas relevantes** del territorio a través de las funciones y procesos que generan, mantienen y/ afectan a cada uno de los SEs. En los bosques españoles, suelen ser prioritarios los servicios relacionados con las funciones y procesos de regulación hídrica, el control de la erosión, el almacenamiento y fijación de carbono, la prevención y mitigación de incendios y sequías, la producción forestal (madera, biomasa, productos no maderables) y el uso cultural-recreativo. Los criterios de selección de las funciones y procesos que sustentan estos SE deben basarse en la relevancia territorial y la disponibilidad de datos. En el punto posterior, se jerarquizarán los SEs (dadas las seguras sinergias y compromisos entre SEs) en función del margen de mejora posible con la gestión forestal y las preferencias de los beneficiarios, lo que dará ya una lista priorizada de SEs por monte o activo.

El **resultado** de este proceso es la **selección de los SE relevantes** y el enunciado y justificación de los **objetivos generales** que guían la gestión forestal. Esta definición condicionará tanto el grado de precisión metodológica como la selección de indicadores generales. Se trata de generar una nueva tabla II de condición del ecosistema, con datos relevantes para medir su capacidad para suministrar diferentes SEs. El resultado es una **cuenta de condición II (vocación) de SEs por tipo de ecosistema presente para los SE preseleccionados que organiza los datos sobre indicadores de los procesos y/o variables relevantes**. Para cada SE identificado (al mejor detalle posible en la jerarquía de CICES) se identifican las funciones y procesos ecosistémicos implicados y

7.1. Funciones y procesos implicados en los SE identificados

Para cada SE (al mejor detalle posible, pero genérico en la jerarquía de CICES-SEEA_EA) se identificarán las funciones y procesos ecohidrológicos implicados en su génesis y provisión, que deben encuadrarse en las **características del ecosistema** similares a las usadas en la condición del ecosistema I (punto previo). Se seleccionan indicadores del SE vinculados a tales procesos (pueden ser los mismos que en la condición I, pero normalmente se amplían o se especifican más) y se comparan con rangos deseables o aceptables. Estos indicadores o variables serán denominados **de condición de vocación del ecosistema** y serán representativos de cada uno de los cinco subsistemas fundamentales (ASHPE: A: Atmósfera-clima, S: Gea-Suelo, H: Subsistema Hidrológico, P: Ecosistema forestal y E: subsistema socioeconómico).

Estos indicadores se emplean a mesoescala, se obtendrán de cartografías y fuentes de datos oficiales (a esta escala no se hacen inventarios de campo) y deben apuntar a procesos y variables directamente implicados en los SE, promediándose para dar un valor de cada característica del ecosistema o subsistema y el global de la EEA. Al tratarse de un primer diagnóstico de vocación general, en general no se ponderan, a fin de que la capacidad intrínseca del territorio se exprese a través de cargas o puntuaciones en varios de estos indicadores (se recomiendan al menos 4-5 indicadores por subsistema) y en cada subsistema

(A: Atmósfera-clima, S: Gea-Suelo, H: Subsistema Hidrológico, P: Ecosistema forestal y E: subsistema socioeconómico). Así se puede identificar fácilmente la existencia de facotes limitantes o muy limitantes para el SE. Por ejemplo, un ecosistema puede ser muy apto para aumentar la tasa de secuestro de carbono mediante intervenciones selvícolas livianas y repetidas (alta puntuación en los subsistemas clima, gea y vegetación, planta), pero ser inviable por tratarse de una zona natural con el máximo nivel de protección ambiental (baja puntuación en el sistema socioeconómico, parte normativa).

El conjunto de variables/indicadores, no obstante, deberá modificarse de modo que se recojan aquellos que proporcionen información específica del SE en cuestión y no tanto sobre la integridad del ecosistema (punto anterior). Además, la selección de estos indicadores es un criterio abierto y crítico que depende de la disponibilidad de datos y puede ajustarse o modificarse para hacerlo tan complejo como pueda determinarse. En este manual, se dará una lista de algunos de ellos, pero se aconseja ajustarlo localmente con expertos en un proceso de cocreación, por medio de **Living Labs**.

A modo de ejemplo se dan algunas pautas de los procesos ecosistémicos y ecohidrológicos que suelen sustentar los SE más importantes que condicionan los objetivos de la gestión forestal. Son criterios relacionados con la orientación de la gestión en función de objetivos productores (producción de carbono o de agua) y protectores (protección calidad del agua, frente al resgo de incendios o de sequías).

SE relacionados con el Carbono

Los SE relacionados con el carbono están relacionados directamente con la productividad primaria del sitio. Por lo tanto, aquellas combinaciones de suelo, pendiente, régimen térmico y pluviométrico que favorecen la producción primaria tienen un peso determinante. Igualmente, es preciso considerar que esta orientación productivista puede suponer ciertos riesgos tales como:

- Escasez de agua, por alto consumo hídrico de la selvicultura intensiva
- Degradación de la calidad del agua, por i) una mayor concentración de sedimentos en suspensión por tránsito de vehículos y maquinaria dado el mayor número de intervenciones selvícolas; o por ii) contaminación resultante de aplicaciones de enmiendas o fertilizantes que puedan lixiviar y afectar fuentes de agua. En general, se asume que las cortas y aprovechamientos forestales suponen riesgos potenciales en la calidad de las aguas.
- Degradación del suelo por erosión o por compactación, igualmente debida al tránsito de maquinaria, etc.
- En una selvicultura productiva son precisas ciertas simplificaciones del ecosistema a favor de la especie principal y la forma principal de masa, lo que podría llevar asociados ciertos compromisos en aspectos tales como la biodiversidad estructural y biológica del bosque o su impacto paisajístico, que podrían resultar menguados.

Otro aspecto de vital importancia a la hora de priorizar este componente es la adecuación previa de las masas existentes y, por tanto, la no necesidad de hacer transformaciones o conversiones de masa que supongan plazos excesivos. Finalmente, es muy deseable su encaje (o estímulo) en las economías locales y los usos tradicionales del monte (biomasa, madera, etc.) y en las políticas sectoriales y los objetivos generales marcados en la Planificación Forestal del Territorio. Para objetivar SE relacionados con el componente Carbono en selvicultura se ha desarrollado la Table 6.

Table 6. Relación de indicadores relevantes de vocación en cada subsistema ASPHE (A: Atmósfera, S: Suelo, H: Sistema Hidrológico, P: ecosistema forestal y E: sistema socioeconómico) para SE relacionados con el Carbono en selvicultura eco-hidrológica (Fte. Del Campo García et al., 2023).

Decisión que se quiere tomar: realizar una selvicultura para producir biomasa/madera/C				
Subsistema	Factores relevantes	Función	Valor 0	Valor 1
A-1	Régimen pluviométrico (P anual)	B	450	800
A-2	Periodo vegetativo (grados día, Tb:5°C)	B (>1000)	1000	4500
A-3	Aridity Index (P/ET _o)	B	0.4	1
A-4	Productividad potencial forestal (m ³ /ha año) o PPN	B (>2.0)	2	9
A-5	Int-Dur-Frec Sequías (SPI-IDF)	A	3	0
A-6	Cambio Productividad potencial forestal 8.5 (fracción)	B (>0.9PPF)	0.5	0.9
S-1	Suma déficit hídrico suelo	B (Def)	-800	-100
S-2	SOC 0-10cm (%)	B (..)	0	5
S-3	Calidad de estación (site index, SFI, PISY)	B (I, II)	5	17.5
S-4	Clase textural 1-9	C (1-7-12)	12	7
S-5	Pendiente	A (<15%)	30	5
S-6	pH	C(4.5-6.5/7.5-9)	4.5	6.5
H-1	Equilibrio agua azul/verde (1-QJun/Qfeb)	A	1	0.2
H-2	Reserva hídrica media > 50%	B	50	80
H-3	Tendencia niveles piezométricos (%variación)	B	-20	20
H-4	NO ₃ (Calidad Química agua, ej uso potable)	A	50	0
H-5	Solidos suspensión (Calidad física agua)	A	20	0
P-1	Existencias VCC IV IFN por ha de uso forestal	B (existente)	50	200
P-2	Importancia selvícola sp principal (productividad alta/mejorada genéticamente/con demanda industria/organización dasocrática/tablas prod./Itinerarios para las spp	B (>2/3)	0	0.7
P-3	Perturbaciones abióticas (plagas, enfmds., abióticos:fuego, vto./nieve)	A (Bajo)	0	1
P-4	Decaimiento arbolado (tendencia índice multiespectrales)	B	-1	1
P-5	Índice de biodiversidad Margalef (afección x simplificación ecosistema)	A (bajo)	200	20
E-1	Medios técnicos disponibles (planific., gestión y aprovechamientos)	B (Medio-Bajo)	0	1
E-2	Calidad/fragilidad paisaje	A	1	0
E-3	Propensión población aprovechamientos forestales	B (Medio-Bajo)	0	1
E-4	Afección o estímulo economía/industria local (biomasa, madera, brigadas, etc.)	B (Medio-Alto)	0	1
E-5	Valor existencias en pie €/hectárea		1000	5000
E-6	Contexto jurídico y socioeconómico proclive aprovechamientos forestales (normativa, precio C, etc)	B (Medio-Alto)	0	1
E-7	Encaje en políticas sectoriales y objetivos generales marcados en la Planificación Forestal	B (Medio-Alto)	0	1

SE relacionados con el Agua

Respecto al Agua, los cambios de las relaciones bosque-agua con la gestión forestal dependen en gran medida del tipo de bosque, suelo/fisiografía, régimen dominante de precipitación y meteorología durante la lluvia. Tras una clara, la partición de la lluvia resultante será diferente según la estructura forestal específica que se trate y las características meteorológicas de la lluvia. Así, el aumento de la precipitación neta en una estructura forestal aclarada podría contrarrestarse con una mayor evaporación desde el suelo y/o menor precipitación bajo condiciones semiáridas, con lo que podría argumentarse en contra la efectividad del componente Agua en la selvicultura eco-hidrológica. Con respecto a la redistribución del agua

infiltrada, los procesos hidrológicos subterráneos (subsistema suelo) se relacionan también con la estructura forestal por su papel determinante en la dinámica de la ladera y la hidrología del suelo. La gestión forestal puede aumentar la humedad del suelo y la recarga del agua subterránea, pero esto depende mucho de la heterogeneidad subsuperficial y dinámica de flujo espacio-temporal (conectividad y patrones de flujo preferencial en laderas), que a su vez depende de las características de la lluvia, el estado de humedad del suelo antecedente, la hidrofobicidad, el tipo de suelo y el espesor y la topografía. La termicidad e irregularidad del clima (precipitaciones) son factores que no contribuyen a la efectividad en la producción de agua azul con la silvicultura. El subsistema hidrológico es también determinante, pues la capacidad de almacenamiento y dinámicas de los tanques subsuelo, cauces y embalses determina la mayor o menor necesidad de un suministro de agua azul proveniente de la silvicultura. Finalmente, el subsistema socioeconómico es también clave ya que debe existir una demanda ambiental, agrícola, urbana o industrial de agua para dar sentido a esta orientación Agua-producción.

Para objetivar SE relacionados con el componente Agua en silvicultura eco-hidrológica se han desarrollado en dos tablas (Table 7 y Table 8) que muestran los umbrales de cada indicador o factor relevante de los cinco subsistemas fundamentales según se trate de producción de agua o protección del suelo.

Table 7. Relación de indicadores relevantes de vocación en cada subsistema ASPHE (A: Atmósfera, S: Suelo, H: Sistema Hidrológico, P: ecosistema forestal y E: sistema socioeconómico) para SE relacionados con la producción de agua en silvicultura eco-hidrológica (Fte. Del Campo García et al., 2023).

Subsistema	Indicadores relevantes para la producción de agua en cantidad	Detalle del indicador	Función esperada	Valor 0	Valor 1
A	Precipitación anual, mm	Entrada de agua al sistema hidrológico (Hibbert et al., 1982)	B	380	900
A	Densidad erosividad R-factor/P	Agresividad de la lluvia (Panagos et al., 2015a)	A	2,5	1,2
A	Índice de aridez (P/ET _o)	Indicador descompensación hídrica de un clima entre entradas y demanda atmosférica	B	0,4	1
A	Estacionalidad periodo húmedo (Po+Pi/P)	Solape periodo húmedo con periodo de menor evaporación (otoño e invierno).	B	0,5	0,7
A	Periodo vegetativo (grados día)	Indicador climático del uso consuntivo del agua por la vegetación (MARCHI et al., 2020)	A	4	2
S	% días SM>40% AD	Indicador edáfico del uso consuntivo del agua por la vegetación (http://bec.icm.csic.es)	B	0	67
S	Infiltrabilidad y conductividad hidráulica suelo (Kc sat)	Capacidad del suelo de infiltrar P incidente y favorecer el flujo hipodérmico frente al hortoniano o (Del Campo et al., 2019)	B	10	60
S	Pendiente media	Afecta a la vulnerabilidad a la erosión y a la capacidad de drenaje de la ladera.	A	30	10
S	Erosionabilidad suelo (Factor K RUSLE)	Erosionabilidad del suelo (PANAGOS et al., 2014)	A	0,041	0,03
S-	Factor topográfico (LS-RUSLE)	Factor LS RUSLE (PANAGOS et al., 2015b)	A	7,5	0,1
H-	Rango caudales (Q25/Q75)	Indicador estacionalidad cursos agua (Cedex)	B	1	5
H-	Rango piezometría (Q25/Q75)	Indicador estacionalidad masas subterráneas (Cedex)	B	1	1,5
H	Rango agua embalsada media (Q25/Q75)	Indicador estacionalidad embalses (Cedex)	B	1	1,5
H	Impacto 1 hm ³ /año (equiv 1000 ha) sobre reserva anual (%)	Indicador de un impacto potencial de 1 hm ³ adicional en el sistema hidrológico (agua embalsada)	B	0	5

H-	Vulnerabilidad calidad química agua superfic. subterránea	Vulnerabilidad calidad aguas	A	1	0
P	Uso agua spp arbóreas principales (mm/día)	Uso consuntivo de agua de las especies forestales (revisión bibliográfica)	B	0,1	2,5
P	Interceptación spp principales (%Pg)	Tasas de interceptación estimada para las masas de la especie (revisión bibliográfica)	B	10	25
P	FCC, %	Cobertura o fracción de cabida cubierta del arbolado (CVEN Tragsa ¹)	B	50	85
P	Clases naturales edad	Disem/Rep: 0; Mte. bravo: 0,4; Latizal Bajo: 0,7; Lat. Alto: 1; Fustal Bajo-Medio: 0,75; Ftl. alto: 0,5 (CVEN Tragsa ¹)	C	0,0	1
P	Vulnerabilidad biodiversidad	Presencia de endemismos u otras especies sensibles a la selvicultura	A	1	0
E	Complejidad técnica ejecución	Adecuación dasonómica masas existentes para la selvicultura. Forma Ppal. Masa (de irregular a coetánea)	B	0	1
E	Mejora o estímulo de economía local	% población dedicada al sector forestal. Escasez agua para suministros públicos, riegos o concesiones.	B	0,0	1
E	Encaje en políticas	Superficie con protección alta / superficie total (IDEM, Madrid ²)	B	0,0	1
E	Calidad/fragilidad paisaje, %	Superficie con calidad alta + superficie con vulnerabilidad alta / superficie total (IDEM, Madrid ²)	A	1	0

¹ Central de Valoración de Ecosistemas Naturales, TRAGSA

² Infraestructura de datos espaciales de la Comunidad de Madrid

Table 8. Relación de indicadores relevantes de vocación en cada subsistema ASPHE (A: Atmósfera, S: Suelo, H: Sistema Hidrológico, P: ecosistema forestal y E: sistema socioeconómico) para SE relacionados con la protección de la calidad del agua en selvicultura eco-hidrológica (Fte. Del Campo García et al., 2023).

Decisión que se quiere tomar: realizar una selvicultura para producir agua en calidad y proteger el suelo				
Subsistem a	Factores relevantes	Función	Valor 0	Valor 1
A-1	Régimen pluviométrico (P anual efectiva)	C (0-300-750-->)	1500	750
A-2	P_max24_T100	B	60	160
A-3	Densidad erosividad (R-factor/P)	B (>1.6)	1.2	2.5
A-4	Aridity Index (P/ETo)	A	0.65	0.2
A-5	Periodo vegetativo (grados día, Tb:5°C)	B (>2000)	4500	2000
A-6	Int-Dur-Frec Sequías (SPI-IDF)	B	0	3
S-1	Infiltrabilidad suelo (Kc sat)	A (C,D)	60	10
S-2	Rugosidad (pedregosidad, manning, despojos, agregados)	A	40	0
S-3	Erodibilidad suelo (Factor K RUSLE)	B (>0.3)	0.03	0.041
S-4	Slope Length and Steepness factor (LS-factor)	B	0.1	7.5
S-5	SOC 0-10cm	A	5	0
H-1	Escorrentía media anual (mm) (Morgan, 1997)	C-B (0-80-500->)	80	500
H-2	Coef Escorrentía Q/P	B	0.1	0.5
H-3	Sólidos suspensión (Calidad física agua)	B (20 ppm)	0	20
H-4	Densidad drenaje cuenca (m/m2)	B	0	0.05
H-5	NO3 (Calidad Química agua, ej uso potable)	B (50 ppm)	0	50
P-1	Fracción cabida cubierta arbolado	A (<75%)	85	30
P-2	Fracción cubierta suelo (total)	A (40-75%)	100	50
P-3	Forma principal de masa (irregular, regular, coetánea,..)	B	0	1
P-4	Presencia spp caducifolias, copa clara o crecimiento lento	B	0	1
P-5	Índice de biodiversidad (Margalef, afección x simplificación ecosistema)	A (bajo)	200	20

E-1	Afección erosión sistemas productivos (agricultura, ganadería, poblaciones, etc).	B (Medio-Alto)	0	1
E-2	Afección erosión infraestructuras hidráulicas (cuencas vertientes embalses).	B (Medio-Alto)	0	1
E-3	Afección o estímulo economía/industria local (costes depuración, filtrado, limpieza canalizaciones, reparaciones, etc).	B (Medio-Alto)	0	1
E-4	Encaje en políticas sectoriales y objetivos generales marcados en la Planificación Hidrológico-Forestal	B (Medio-Alto)	0	1
E-5	Reconocimiento C (secuestro/protección)	B (positivo)	0	1

SE relacionados con el Fuego

En lo relativo al Fuego, la modificación de la vegetación supone i) la reducción del combustible o disminución de la carga de combustible disponible, ii) la conversión del combustible, por la cual unos combustibles son reemplazados por otros con distinta inflamabilidad y iii) el aislamiento/fragmentación del combustible, consistente en aislar grandes compartimentos de combustible mediante fajas/áreas cortafuegos o cinturones verdes.

La silvicultura preventiva se basa en aplicar unos principios que definen las condiciones de bosques resistentes al fuego, consistentes en reducir los combustibles de superficie, reducir combustibles de escalera y reducir la densidad de copas. Estos son:

- El comportamiento del fuego en superficie debe controlarse reduciendo los combustibles de la superficie o estimulando un reverdecimiento de pastos y arbustos bajos.
- La reducción en el potencial de antorcheado (salto a copas) se logra reduciendo el comportamiento potencial del fuego en superficie más aumentando la altura de la base del dosel.
- La reducción en la propagación potencial activa del fuego de copas se logra reduciendo la densidad aparente del dosel.
- Mantener los árboles grandes en el rodal si existen, pues son más resistentes al fuego por sus copas más altas y corteza más gruesa.

No todos los tratamientos de reducción de combustible reducirán los problemas de incendio, pero, si los tratamientos se planifican con estos principios de bosques a prueba de incendios, los combustibles y la estructura del bosque marcan una diferencia con mayor resistencia al fuego. Si se aplica un tratamiento apropiado de los combustibles, la reducción general en el comportamiento esperado del fuego y su severidad generalmente compensan cambios en los factores meteorológicos, como la velocidad del viento y la humedad del combustible.

Para objetivar los SE relacionados con el componente Fuego en la silvicultura eco-hidrológica, se ha desarrollado la Table 9 que presenta umbrales de ejemplo para cada indicador o factor relevante de los cinco subsistemas fundamentales.

Table 9. Relación de indicadores relevantes de vocación en cada subsistema ASPHE (A: Atmósfera, S: Suelo, H: Sistema Hidrológico, P: ecosistema forestal y E: sistema socioeconómico) para SE relacionados con el Fuego en silvicultura eco-hidrológica (Fte. Del Campo García et al., 2023).

Decisión que se quiere tomar: realizar una silvicultura para tener bosques resistentes al fuego				
Subsistema	Factores relevantes	Función	Valor 0	Valor 1
A-1	Nivel riesgo incendio forestal	A	4	1
A-2	Promedio días año con Tmax>30°C	B ()	0	180
A-3	DPV Jun-Ago Kpa	B	1	2
A-4	Suma MDC durante periodo peligro incendio (DMC>300)	B(300-540 o 600-2160)	600	2160

A-5	Int-Dur-Frec Sequías (SPI-IDF)	B	0	3
A-6	Velocidad media anual viento	B (2-12)	2	12
A-7	Aridity Index (P/ET _o)	A	1.7	0.32
S-1	Clase textural 1-9 (hidrofob en texturas gruesas)	B (8-12)	8	12
S-2	Erosión Hídrica potencial (RUSLE)	A	100	0
S-3	Rugosidad (pedregosidad, manning, despojos, agregados)	A	40	0
S-4	Orientación S (area.S/area.total)	B	0.25	0.5
S-5	Pendiente	B (>30%)	10	30
H-1	Escorrentía media anual (mm)	C-B (0-80/500->)	80	500
H-2	Coef Escorrentía Q/P	B	0.1	0.5
H-3	Densidad drenaje cuenca (m/m ²)	B	0	0.05
H-4	NO ₃ (Calidad Química agua, ej uso potable)	B (50 ppm)	0	50
H-5	Sólidos suspensión (Cald física agua)	B (20 ppm)	0	20
P-1	Carga combustibles en superficie (hmat*fccmat)	B)	0	200
P-2	Altura copa viva/o matorral	B	0.5	2
P-3	Densidad aparente de copas (LAI, FCC)	B	50	85
P-4	Fragmentación bosque (mosaico, áreas/fajas cortafuegos).	B	0.5	1
P-5	Modelo combustible	B	1	7
E-1	Afección o estímulo economía/industria local (biomasa, madera, brigadas, etc.)	B (Medio-Alto)	0	1
E-2	Presencia humana (Igniciones, Densidad diseminados, parches/km ²)	B (positivo)	0	0.15
E-3	Encaje en políticas sectoriales y objetivos generales marcados en la Planificación autonómica	A (< 0.7)	4	1
E-4	Presencia humana (protección bienes y población: Ind Agreg Urbano)	B (positivo)	1	0.5
E-5	Valor econ. ecosistemas forestales (IV_IFN) €/ha	B	0	2500

SE relacionados con la Eco-Resiliencia

En el contexto del cambio climático actual, la silvicultura adaptativa trata de aumentar la disponibilidad de agua para el arbolado planteando espesuras intermedias que mejoren el balance hídrico de la masa; el objetivo es mejorar las condiciones de la masa y surge especialmente en áreas semiáridas donde la provisión de bienes y servicios por los bosques está amenazada por el cambio global y más específicamente por las sequías más intensas. Los bosques mediterráneos padecen una combinación de factores climáticos estresantes que en numerosas ocasiones han desencadenado una mortandad generalizada del arbolado. Esto puede ser más grave en masas artificiales y poblaciones marginales donde el impacto del cambio climático requiere una silvicultura adaptativa proactiva y urgente que haga que las masas sean más resilientes. Además de favorecer la biodiversidad de los bosques para que presente un sistema más diverso, que por lo general hace que sea más estable y con capacidad de adaptación a las perturbaciones.

Para objetivar SE relacionados con el componente Eco-Resiliencia en silvicultura eco-hidrológica, se ha desarrollado la Table 10, que muestra las valoraciones obtenidas para cada indicador o factor relevante de los cinco subsistemas fundamentales.

Table 10. Relación de indicadores relevantes de vocación en cada subsistema ASPHE (A: Atmósfera, S: Suelo, H: Sistema Hidrológico, P: ecosistema forestal y E: sistema socioeconómico) para SE relacionados con la Eco-resiliencia en silvicultura eco-hidrológica (Fte. Del Campo García et al., 2023).

Decisión que se quiere tomar: realizar una silvicultura para favorecer la eco-resiliencia y adaptación del bosque al cambio climático				
Subsistema	Factores relevantes	Función	Valor 0	Valor 1
A-1	Aumento Aridity Index RCP 8.5 (P/ET _o)	A	0	-0.5
A-2	Aumento IDF Sequías (SPI-IDF)	B	0	1
A-3	Aumento otras perturbaciones climáticas	B		
A-4	Aridity Index (P/ET _o)	A	1	0.2
A-5	Aumento termicidad (GDD8.5=X*GDD)	B	1	2
A-6	Int-Dur-Frec Sequías (SPI-IDF)	B	0.65	3
S-1	Clase textural 1-9 (fertilidad y retención agua)	B (8-12)	8	12
S-2	Suma déficit hídrico suelo	A	-100	-800
S-3	Profundidad suelo	A	60	20
S-4	Calidad de estación (site index, SFI, PISY)	A (III-IV)	10	5
S-5	Desequilibrios en balance C suelo (I-O<<>>0)			
S-6	Pendiente	B (>30%)	10	30
H-1	Aumento sequía sistemas hidrolg (frecuencia, Intensidad, duración)	B	-20	20
H-2	Tendencia Q medio/reserva hídrica	B	-20	20
H-3	Reserva hídrica media < 50%	B	70	10
H-4	Tendencia niveles piezométricos (%variación)	B	-20	20
H-5	Equilibrio agua azul/verde (1-QJun/Qfeb)	B	0.2	1
P-1	Alta densidad arbolado	B (<0)	150	750
P-2	Diversidad estructural y biológica	A	4	1
P-3	Decaimiento arbolado (tendencia índice multiespectrales)	A	1	-1
P-4	Carbono acumulado por hectárea de uso forestal	B (<0)	10	60
P-5	Fragmentación (mosaico, áreas/fajas cortafuegos) del bosque.	A	0.5	1
P-6	Cambio previsto hábitats sp ppal. (Mantenimiento hábitat central-óptimo sp en el turno común)	B	0	0.7
E-1	Afección o estímulo economía/industria local (biomasa, madera, brigadas, etc.)	B (Medio-Alto)	0	1
E-2	Encaje en políticas sectoriales y objetivos generales marcados en la Planificación autonómica (Estrategia 2021-2030)		0	1
E-3	Reconocimiento C (secuestro/protección)	B (positivo)	0	1
E-4	Calidad/fragilidad paisaje	B	0	1
E-5	Complejidad técnica ejecución (tipo masas, propiedad,...)		0	1
E-6	Valor econ. ecosistemas forestales (IV_IFN) €/ha	B	0	2500

7.2. Niveles de referencia y condición de referencia

En la terminología SEEA-EA, una **condición de referencia** es la condición con la que se compara la condición pasada, presente y/o futura del ecosistema para medir el cambio relativo a lo largo del tiempo. Refleja una alta integridad del ecosistema (mejor estado natural) y corresponde a un estado en el que todos los indicadores de condición tienen un valor (promediado espacialmente) de 1 (100 %). Utilizando este concepto, la condición de un activo ecosistémico se mide en términos de la distancia entre su condición actual y su condición de referencia.

En el contexto de este punto del manual sobre vocación para SEs, la **condición de referencia** es la que se compara con la condición pasada, presente y/o futura del EAA-ecosistema para medir su **vocación** para sustentar determinados SEs. Reflejará por ende una alta vocación para el SE y corresponde a un estado en el que todos los indicadores de condición de vocación tienen un valor (promediado espacialmente) de 1 (100%). Utilizando este concepto, la condición de vocación de una EAA se mide en términos de la distancia entre su condición actual y su condición de referencia.

Para el caso del **nivel de referencia**, la definición de SEEA-EA es directamente aplicable a nuestro caso: es el valor de una variable o indicador en la condición de referencia, contra el cual es significativo comparar valores medidos pasados, presentes o futuros de la variable. La diferencia entre el valor de una variable y su nivel de referencia representa la distancia desde la condición de referencia.

El valor del nivel de referencia se puede utilizar para reescalar una variable y así derivar un indicador de condición individual. Cada **variable de condición de vocación** del ecosistema se relaciona con un nivel de referencia re-escalando a [0, 1] usando el nivel de referencia de la variable.

$$I = (V - V_i) / (V_s - V_i),$$

Siendo

- I, el valor del indicador reescalado
- V, el valor observado de la variable
- V_i , el valor inferior del nivel de referencia
- V_s el valor superior del nivel de referencia

Este valor es una salida clave, primeramente para entender la vocación para el SE y después para monitorizar e informar cambios en los valores a lo largo del tiempo. Para cada variable o indicador es preciso identificar una función genérica (como se aprecia en las tablas 6 a 10) de respuesta al SE (tipo a, b o c (Fig. 8. Respuesta genérica de los indicadores (de izquierda a derecha: a, b y c) seleccionados para medir la vocación frente a un SE) y unos valores umbrales para el valor máximo (1) y mínimo (0) de adecuación.

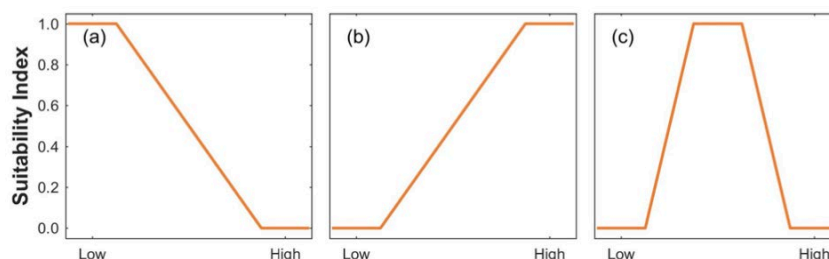


Fig. 8. Respuesta genérica de los indicadores (de izquierda a derecha: a, b y c) seleccionados para medir la vocación frente a un SE

Los valores de referencia de la variable o indicador, se pueden organizar de manera estructurada los umbrales de una variedad de características ecosistémicas (ASHPE) para facilitar seguidamente un informe sobre el SE dentro de una EAA (Table 11).

Table 11. Tabla ejemplo de valores de referencia para variables-indicadores de condición del ecosistema sin reescalar para SE relacionados con producción de Agua. Escala espacial EAA total donde cada ecosistema es ponderado por su área

Grupo	Subsistema	Clase-Variable o Indicadores de condición de	Detalle	Unids.	Valores del nivel de referencia	
					Inferior	Superior

		vocación del ecosistema				
Características abióticas	Atmósfera-clima	Régimen pluviométrico (P anual)	Entrada ...	mm	380	900
		Densidad erosividad (R-factor/P)	Agresividad ...	MJ.mm.ha-1.h-1.yr-1	2.5	1.2
		Aridity Index (P/ETo)	Indicador ...	adim	0.4	1
	Gea					
	Hidrología					
Características bióticas	Vegetación					
	Fauna					
Características sociales	Socio-economía					

7.3. Cuenta de condición del ecosistema II: Vocación

Con los valores actuales de la variable o indicador y los de referencia, se organizan los datos de manera estructurada en un **Cuenta de condición de vocación del ecosistema para el SE**, (Table 12) permitiendo un informe sobre el SE dentro de una EAA a lo largo de una variedad de características ecosistémicas (ASHPE) e informando sobre la capacidad de los ecosistemas para suministrar los SEs, y de sus posibles cambios ante la eficacia de las estrategias destinadas a mejorar la condición del SE.

Se elaborarán tantas tablas como SEs se hayan identificado como potenciales objetivos de gestión forestal, según los indicadores o procesos del ecosistema propuestos en cada caso. Para cada SE, se calcula el valor promedio del conjunto de indicadores (tanto por subsistema ASPHE como para el conjunto total) y se obtiene un valor de vocación para la zona de estudio (EAA), comprendido entre 0 y 1, que representa el **valor final de vocación** al compararlo con la condición de referencia (1).

Table 12. Tabla ejemplo Cuenta de condición de vocación del ecosistema para SEs de provisión de Agua obtenida de indicadores de condición de vocación reescalados de acuerdo al nivel de referencia. La escala espacial es la EAA total donde cada ecosistema es ponderado por su área.

Grupo	Subsistema	Clase-Variable o Indicadores de condición de vocación del ecosistema	Detalle	Unids.	Valor de las variables (observados)		Valores del nivel de referencia		Valores de indicadores (re-escalados)		
					Apertura	Cierre	Inferior	Superior	Apertura	Cierre	Cambio
Características abióticas	Atmósfera-clima	Régimen pluviométrico (P anual)	Entrada ...	mm	832		380	900	0.87		
		Densidad erosividad (R-factor/P)	Agresividad ...	MJ.mm.ha-1.h-1.yr-1	2		2.5	1.2	0.38		
		Aridity Index (P/ETo)	Indicador ...	adim	0.65		0.4	1	0.42		
	Gea										
	Hidrología										

Características bióticas	Vegetación										
	Fauna										
Características sociales	Socio-economía										

Medidas o índices agregados de la condición de vocación del EEA-ecosistema

Es posible elaborar **índices y subíndices de condición de vocación del ecosistema por subsistema ASPHE**, mediante indicadores compuestos que se agregan a partir de la combinación de indicadores individuales de condición de vocación del ecosistema registrados en la cuenta del indicador de condición de vocación del ecosistema. Sirven para informar sobre la condición de vocación del ecosistema a niveles más altos de agregación que los presentados en la cuenta del indicador de condición de vocación del ecosistema. Es útil para comunicar tendencias generales, pero al mismo tiempo, la agregación de una variedad de indicadores puede ocultar información importante reflejada en indicadores individuales. Por tanto, los índices agregados requieren una interpretación cuidadosa, especialmente cuando los indicadores individuales muestran tendencias opuestas.

Para la agregación, primero, los subíndices agregados se derivan de los indicadores y luego se obtiene un índice agregado a partir de los subíndices. Así, los indicadores componentes se escalan según sus niveles de referencia, se normalizan a una escala y dirección de cambio comunes y se combinan para formar un índice compuesto. Idealmente, las operaciones de agregación deberían ser conmutativas.

De este modo, se tendrá para cada uno de los grupos CICES de SE un valor de vocación diferenciado que dará una orientación sobre qué objetivos (SE) son más fuertes y hacia dónde puede orientarse la gestión para fomentar dicho objetivo principal. También podría considerarse una combinación de SEs para realizar una gestión multifuncional del monte, si bien es preciso jerarquizar los SE según capacidad del bosque en sí, lo que se verá en el punto de priorización o jerarquización. La vocación, por tanto, es un valor grosero, pero que ofrece una primera aproximación a la vocación potencial del territorio y fundamenta la gestión forestal en su aptitud. Ello no es óbice, no obstante, para obviar aspectos básicos de salud del ecosistema relacionados con la protección de los recursos de agua, suelo y biodiversidad en la gestión del territorio (que deben estar recogidos en la cuenta de condición I), a la vez que para tener en cuenta los impactos seguros del cambio climático en los sistemas y recursos forestales. En realidad, deben interpretarse los resultados como aproximaciones complementarias que pueden contemplar todo el espectro de SE del territorio o focalizar solo los servicios ecosistémicos en los que el territorio afectado tenga una mayor vocación.

Se presentan resultados de un ejemplo en la Sierra Norte de Madrid (Del Campo García et al., 2023), donde se evaluó la vocación del territorio con vistas a cada uno de los 4 grupos de SE CAFE (Carbono, Agua, Fuego o Eco-resiliencia). (Fig. 9 y Table 13).

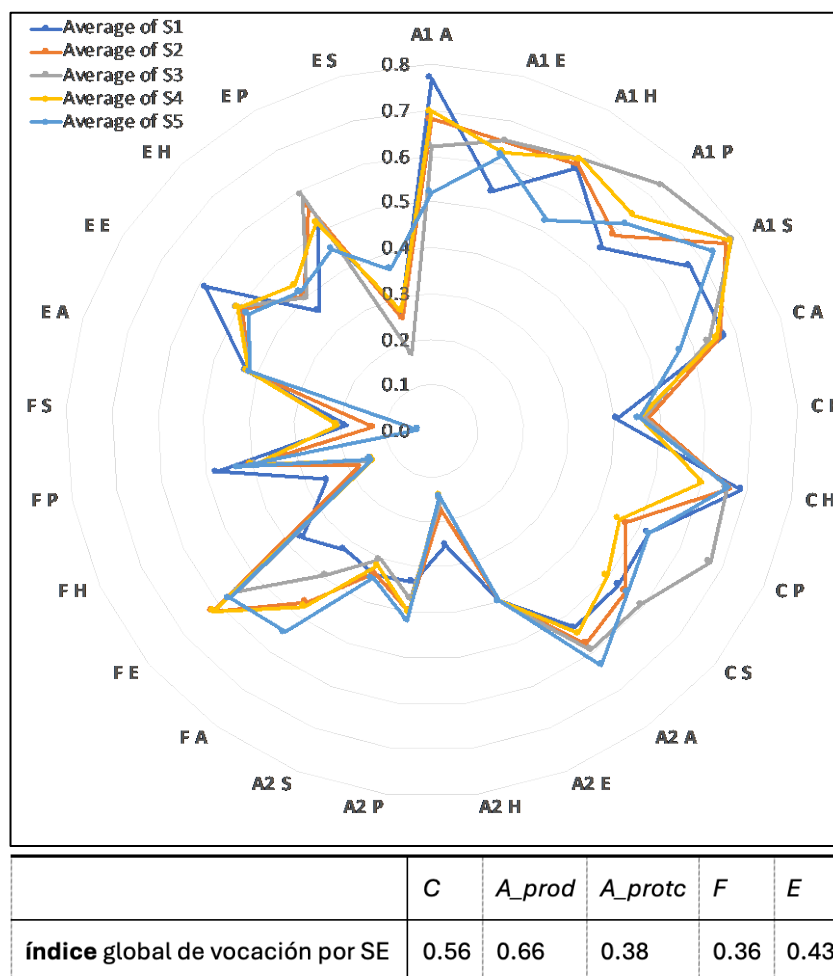


Fig. 9. Ejemplo de agregación de **subíndices** y de **índice** agregado global para la evaluación de objetivos ecohidrológicos (Primera letra: carbono (C), agua-producción (A1), agua-protección (A2), fuego (F) y ecoresiliencia (E)) para 5 ecosistemas distintos (S1 a S5), según subsistema (segunda letra: A: atmósfera, S: suelo, H: hidrológico, P: ecosistema forestal y E: socioeconómico). El gráfico de subíndices permite una comparación integral de todas las dimensiones analizadas, tanto por SE y ecosistema, como por subsistema ASHPE, y evidencia puntuaciones superiores para la producción de agua y la biomasa por este orden (mayor área), lo que denota una clara vocación productiva del territorio.

Table 13. Tabla ejemplo de vocación agregada por tipo de ecosistema con subíndices por subsistema ASHPE e índice total para el SE AGUA – Producción. La escala espacial es la EAA dividida en ecosistemas. La vocación global del EAA se ponderaría según la superficie de cada ecosistema.

Subsistema ASHPE	Ecosist1	Ecosist2	Ecosist13	Ecosist4	Ecosist5
Atmósfera (A)	0.76	0.66	0.59	0.68	0.46
Socio-Ec. (E)	0.55	0.69	0.69	0.66	0.65
Hidrológico (H)	0.64	0.59	0.63	0.61	0.36
Planta-ecost (P)	0.49	0.61	0.70	0.64	0.59
Suelo-Gea (S)	0.67	0.76	0.78	0.77	0.73
TOTAL	0.63	0.66	0.68	0.67	0.56

Como se ha dicho anteriormente, al tratarse de un primer diagnóstico de vocación general donde no se entra a nivel de activo o unidad de gestión, sino de EAA, no se recomienda ponderar los indicadores a fin de que la capacidad total biofísica y socioeconómica del territorio se exprese a través de cargas o puntuaciones en varios de estos indicadores (se recomiendan al menos 4-5 indicadores por subsistema). No obstante, si se estima oportuno,

se pueden ponderar indicadores, subíndices o índices (simples o compuestos) por subsistema o por ecosistema.

8. PASO 3. JERARQUIZACIÓN DE LOS SE POR CAPACIDAD DE MEJORA CON GESTIÓN FORESTAL

Este nivel de análisis supone pasar, de la vocación general del monte o EAA identificada en el nivel previo, a determinar la potencialidad o capacidad de sus masas forestales para acoger actuaciones de gestión forestal (acciones de mejora posibles) que favorezcan los SE preseleccionados. En un contexto de gestión forestal mejorada para SEs, **establecer esta capacidad de las unidades de actuación para las prácticas de gestión supone, por un lado, establecer la conveniencia de tales prácticas y, por otro lado, el posible margen de mejora a lograr en los SE preseleccionados con las prácticas definidas.**

La escala de trabajo de este paso se centra específicamente en la unidad espacial de actuación: el activo ecosistémico o, en su defecto, el ecosistema. Los elementos integrantes de este paso serán por tanto los siguientes:

1. Los SEs preseleccionados del paso anterior
2. Una relación de prácticas o alternativas de gestión forestal mejorada o **prácticas virtuosas** para cada SE
3. Una zonificación en activos o rodales (si procede) y su caracterización biofísica a esta escala. Inventario de cada activo (EHV)
4. Obtención de una condición actual y la de **referencia del activo**

Cada rodal o UA del Plan de Gestión tendrá unas aptitudes particulares para “acoger” una determinada actividad o acción de gestión forestal que mejore uno o varios de los SE preseleccionados en el nivel I de selección. Esta capacidad se evalúa para cada UA y se podrá categorizar como excluyente, negativa, indiferente, positiva y muy positiva para el SE seleccionado. Esto se puede hacer mediante una matriz de capacidad. El resultado final es doble:

- Por un lado, se obtendrá la **jerarquización o priorización de los SE relevantes** en cada área de actuación (activo) en función de su importancia ecológica y socioeconómica (nivel I) y de su relación directa (mejora) con la gestión forestal (nivel II)
- Por otro lado, se obtendrá un enunciado de objetivos específicos o de segundo nivel para cada rodal o UA sobre los que definir con concreción las prácticas o actividades, su diseño y su planificación (plan de gestión).

8.1. Gestión forestal mejorada para los SE

El análisis de vocación del territorio previo ha generado, para cada ecosistema y la EAA, información a partir de la cual nos centraremos en SE concretos que se mejorarán o conservarán mediante una gestión forestal ad hoc. **El primer paso de este nuevo análisis es la identificación de las estrategias y enfoques de gestión mejorada más adecuadas para la conservación y/o mejora de cada uno de los SE preseleccionados.**

La gestión forestal se puede clasificar, según su intensidad, desde la protección total (normalmente orientada exclusivamente al objetivo de conservación de la biodiversidad), hasta la silvicultura más intensiva de turnos cortos y masas coetáneas (orientada a un producto forestal concreto, como, por ejemplo, la pasta de celulosa). La gestión explícita, en un sentido amplio, se puede dividir en dos grandes tipos (Diéguez-Aranda, et al., 2009), la que contempla un turno con corta final (“Rotation Forest Management”, en inglés, RFM) y la que mantiene unas existencias o cobertura forestal continua (“Continuous Cover Forestry”, CCF, en inglés).

En el primer caso hay una primera fase de plantación o regeneración natural (por tanto, generando masas coetáneas o regulares), seguida de tratamientos de mejora (claras, fertilización en su caso, etc.) y una fase de aprovechamiento final cuando se llega al turno, repitiéndose entonces el mismo esquema de forma sucesiva. En contraposición, los CCF no definen la edad de la masa ni un turno, por lo que las cortas se basan en mantener las existencias dentro de un intervalo ideal de volumen o área basimétrica. En CCF se aplican por tanto cortas selectivas (nunca a hecho) buscando la regeneración natural y el mantenimiento de una cubierta forestal permanente, y se favorecen las masas mixtas irregulares con especies autóctonas.

La productividad del sitio, la estructura de la propiedad forestal, las regulaciones administrativas y los objetivos de la silvicultura (y sus posibles limitaciones) determinan esta intensidad de gestión y el aprovechamiento forestal de un monte o región, afectando de forma implícita a los SE. Por otro lado, también se pueden objetivar explícitamente SE con la gestión forestal, generando pautas o itinerarios de gestión específicamente dirigidos a favorecerlos. Por ej., las absorciones y/o existencias de carbono por hectárea de un monte se pueden incrementar estimulando el crecimiento de la masa, modificando el tiempo entre cortas u otras intervenciones, reforestando, etc. Stewart and Sharma (2015) estimaron que, teniendo en cuenta las mejores prácticas selvícolas utilizadas en California, los bosques gestionados pueden proporcionar aproximadamente un 30% más de beneficios totales de secuestro de carbono que los bosques sin gestión durante el mismo tiempo.

Carbono y agua son elementos clave que fundamentan y modulan los procesos ecosistémicos de primer orden que sustentan a los bosques, tales como el crecimiento, la productividad o el balance hidrológico entre necesidades y excedentes del ecosistema (agua verde/agua azul), que a su vez determina aspectos como la sensibilidad a sequías y decaimiento de las masas o el riesgo de incendio (del Campo et al., 2017). El rol de estos procesos en la adaptación al cambio climático de los bosques es, por tanto, de primer orden, lo que llama a la importancia de reconocer aquella gestión forestal que promueva estos SEs y lo pueda demostrar de una forma cuantitativa.

Aparte del carbono y el agua, la gestión forestal, también puede hacer hincapié en diferentes servicios ecosistémicos de manera más explícita, como es el caso de la biodiversidad, en línea con las nuevas políticas y regulaciones que se están desarrollando a nivel internacional (como la nueva hoja de ruta de los créditos de la naturaleza COM(2025) 374 final o la Directiva (UE) 2022/2464 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre sostenibilidad por parte de las empresas CSRD). Conviene señalar que pueden existir ciertas disyuntivas (trade-offs) entre los múltiples servicios ecosistémicos demandados por la sociedad (madera, carbono, biodiversidad, paisaje, agua, uso público, etc. Ameztegui et al., 2024) y que las diferentes estrategias y políticas nacionales e internacionales (políticas climáticas, de biodiversidad, etc.) no están considerando lo suficiente, lo que también puede afectar al desarrollo futuro del secuestro y almacenamiento de carbono en los bosques europeos.

Escalas espaciales de gestión forestal

Existe una jerarquía de niveles al hablar de gestión forestal Fig. 10. Jerarquía de niveles de gestión forestal. De izquierda a derecha se va de un mayor a un menor ámbito espacial.. De mayor a menor ámbito espacial se pueden distinguir: **estrategia**, **enfoques** o tipos de prácticas selvícolas concretas acordes con la estrategia, **tácticas** que son la organización/diseño de las prácticas dentro de un itinerario selvícola concreto y **acciones**.

- Estrategia: orientación amplia que expresa “cómo” se pretende materializar la opción de adaptación (p. ej., reducir vulnerabilidad del sistema, mantener funciones protectoras, disminuir severidad de perturbaciones). Las estrategias son deliberadamente generales para permitir su aplicación en contextos distintos.

- **Enfoque:** especificación operativa de la estrategia; describe el mecanismo por el cual se espera lograr el resultado (p. ej., “modificar estructura y densidad para reducir estrés hídrico”, “aumentar diversidad estructural y de especies”, “proteger y restaurar suelos para sostener infiltración”).
- **Táctica:** prescripción concreta, ajustada al tipo de ecosistema y al contexto local, que indica qué se hará y con qué propósito (tipo de tratamiento, intensidad, patrón espacial y condiciones de aplicación). Es el primer nivel donde se evidencian diferencias claras entre bosques tipo, objetivos y limitaciones territoriales.
- **Acción:** unidad mínima ejecutable, definida de forma que pueda planificarse, presupuestarse y verificarse (qué, dónde, cuándo, quién y con qué medios). Una táctica suele descomponerse en varias acciones (p. ej., señalamiento, ejecución, gestión de restos, protección de regenerado, mantenimiento y seguimiento).

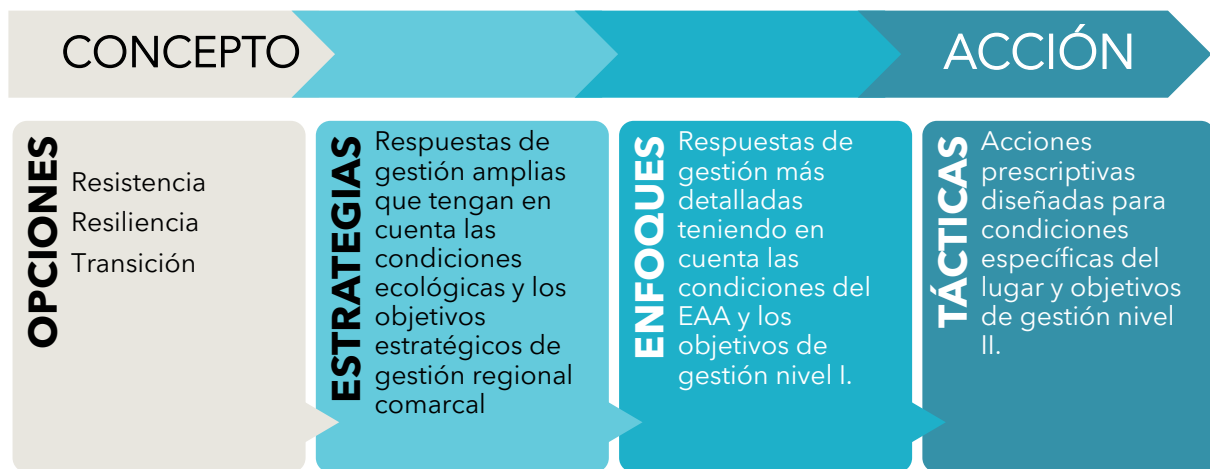


Fig. 10. Jerarquía de niveles de gestión forestal. De izquierda a derecha se va de un mayor a un menor ámbito espacial.

Gestión forestal y SE: carbono

En el contexto forestal hay tres tipos de proyectos de compensación de carbono reconocidos o elegibles internacionalmente que son susceptibles de generar créditos de carbono: forestación/reforestación, conversión evitada y mejora de la gestión forestal. Cada uno de estos tipos de proyectos tiene diferentes metodologías, compromisos, reglas, requisitos de seguimiento y verificación. Sin embargo, en el contexto del reglamento 2024/3012 de la UE, las prácticas forestales consideradas para la mejora del secuestro y almacenamiento de carbono en bosques y suelos son la reforestación (respetando los principios ecológicos para la biodiversidad) y la gestión forestal sostenible o mejorada. Esta última supone solo alrededor del 28% del total de créditos de compensación de C generados en el subsector forestal desde el 2008, si bien la mayoría se han realizado en los Estados Unidos y con una estrategia dominante de reducción de los aprovechamientos (Haya et al., 2023).

La gestión forestal también permite una mejor adaptación a las condiciones ambientales impuestas por el cambio climático, que supone un aumento de perturbaciones forestales. Según la región biogeográfica, la dinámica del carbono puede verse afectada de forma contrapuesta, con bosques que tiendan a un aumento del secuestro y del almacenamiento de carbono (ej. por una mayor deposición de nitrógeno, mayor duración del periodo vegetativo o por aumento de la concentración atmosférica de CO₂) o bosques donde la productividad forestal se vea más limitada por estrés hídrico unido a una mayor temperatura (Kasper et al., 2021).

Las interacciones entre gestión forestal y región biogeográfica afectan directamente al efecto sumidero/fuente de C del bosque. En bosques con limitaciones térmicas como los boreales, la mejora del microclima del subpiso forestal por una mayor entrada de radiación solar tras las claras, unida a una mayor disponibilidad de materiales fácilmente degradables tras la clara (raíces finas, restos de cortas, hojas, etc.), hacen que haya un aumento desproporcionado en la respiración del ecosistema que conlleva tasas de intercambio de carbono (NEE) positivas, actuando como fuente neta de carbono (Aslan et al., 2024). En bosques de la zona templada, un aumento de temperatura de 1-2 °C podría suponer un cambio de formación forestal de hayedos (más fríos y húmedos) hacia robledales (más cálidos y xéricos), lo que conllevaría reducciones en los reservorios de carbono de la biomasa aérea y del suelo de aproximadamente un 22% (40 MgC ha^{-1}) y un 20% (17 MgC ha^{-1}) respectivamente, reduciendo así sustancialmente el almacenamiento de carbono en estos ecosistemas en unas 50-60 Mg C/ha (Kasper et al., 2021).

La intensidad y tipo de gestión forestal se relaciona por tanto con la variación neta de C de un monte, según se conceptualiza en la Fig. 11 donde las opciones a y b son las deseables desde el punto de vista de la silvicultura mejorada del carbono (Korosuo et al., 2023). El sumidero del bosque aumenta solo si el incremento anual neto (NAI; incremento bruto anual menos la mortalidad natural) aumenta, si la mortalidad natural disminuye, si las cortas disminuyen, o una combinación de ambas.

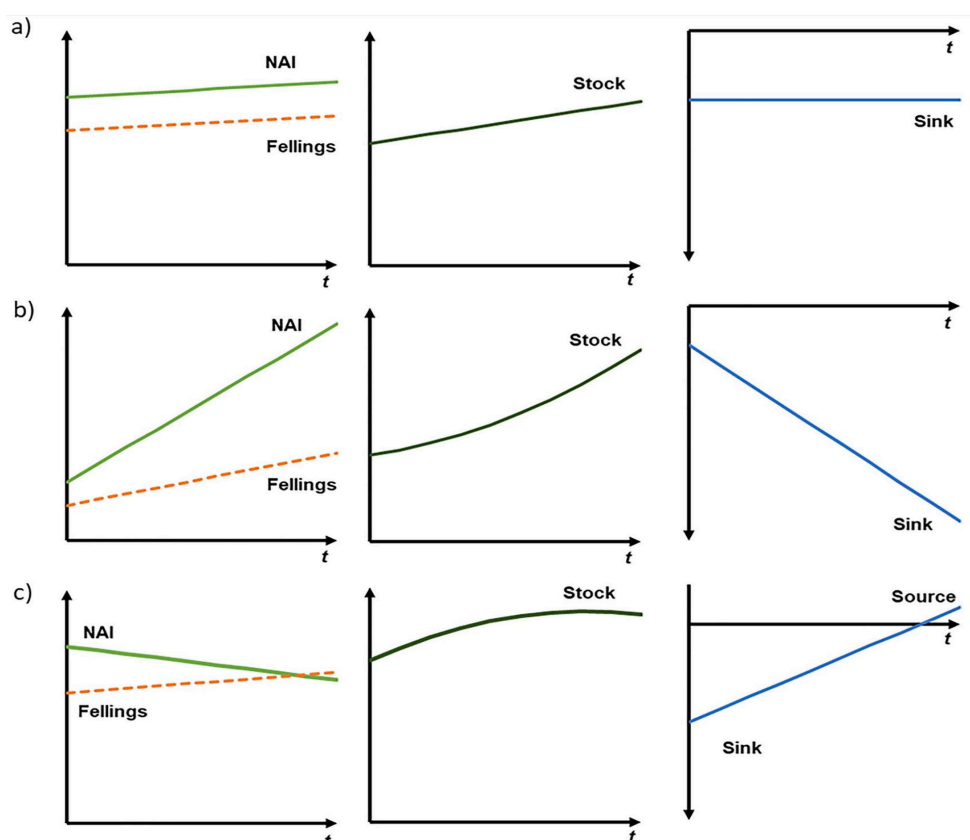
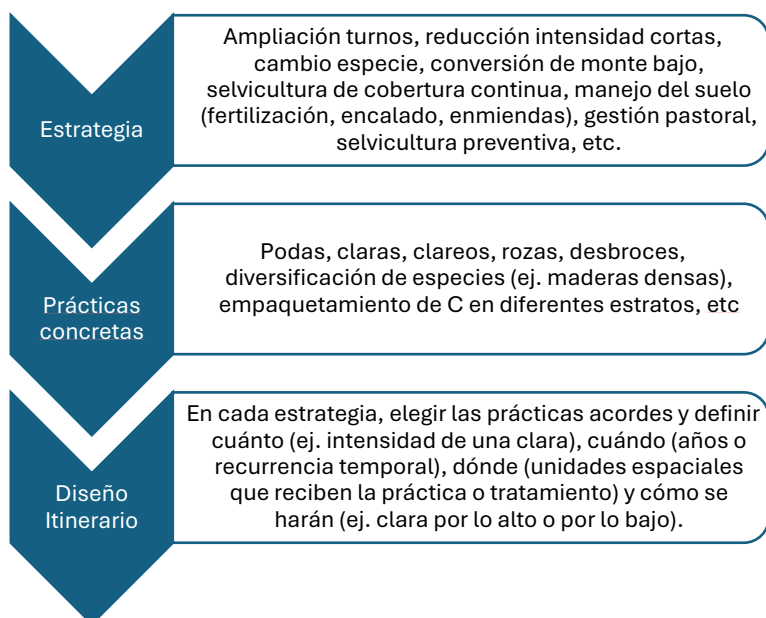


Fig. 11. Relación conceptual entre el incremento neto anual (NAI), las cortas, las existencias o volumen forestal, y el resultado como sumidero o fuente de C en el tiempo. Fte: (Korosuo et al., 2023)

Las combinaciones de variables que pueden dar lugar a una gestión forestal mejorada para adicionalidad del carbono son incalculables. La gestión puede afectar a la cantidad de carbono almacenado (o stock en un momento dado) y/o a su tasa de cambio a lo largo del tiempo (flujo o secuestro de carbono). La cantidad de carbono que se retiene en un reservorio de carbono

dentro del bosque aumenta con su edad y, por lo general, alcanza su punto máximo cuando los bosques son viejos (>150 años). El secuestro o remoción del carbono atmosférico para ser usado en la fotosíntesis cambia con la edad del bosque, alcanzando su máximo cuando éste es joven o de edad intermedia (entre 30 a 70 años), pero continúa durante toda su vida.

Una secuencia de estrategia, prácticas concretas e itinerario selvícola concreto para el carbono podría ser la siguiente:



Ontl et al., (2020) desarrollaron un menú amplio de estrategias para ayudar a la identificación de prácticas apropiadas y acciones potenciales para la gestión del carbono. El menú está organizado jerárquicamente y la elección se basa en condiciones del sitio, vulnerabilidad del bosque y las necesidades del gestor. Las estrategias incluyen acciones defensivas, que pretenden mantener el carbono existente, y acciones ofensivas, que pretenden mejorar la capacidad de los bosques para capturar carbono en el futuro.

Al tomar decisiones sobre la estrategia de gestión forestal, es conveniente pensar si se desea maximizar el almacenamiento de carbono, el secuestro o una combinación de ambos. Esto último está relacionado con la distribución de clases diamétricas o de edades en el bosque. Las masas irregulares tienen la combinación de las características que poseen los árboles de cada edad: los árboles jóvenes tendrán altas tasas de secuestro de carbono, mientras que los árboles viejos mantendrán un mayor almacenamiento. Un gestor podría elegir un conjunto de acciones ofensivas para incrementar el secuestro de carbono futuro en un bosque no congestionado con baja vulnerabilidad a pérdidas por perturbaciones, mientras que otro gestor que trabaje en bosques que han ocupado el espacio y los recursos disponibles podrían elegir una combinación de enfoque defensivo para mantener las condiciones existentes (si hay bajo riesgo de perturbaciones) y de enfoque ofensivo para incrementar el área asimétrica (Ontl et al., 2020).

Las prácticas de mejora forestal en edad joven y media, como los clareos y claras, hacen que los recursos del sitio se concentren cada vez en menos árboles que crecen más, dando lugar a que la tasa de secuestro de carbono sea más alta. Cuando se vuelve a cerrar el dosel del bosque, el crecimiento se ralentiza y, con él, la tasa de secuestro. Inmediatamente tras una perturbación (como corta), el bosque se puede convertir en emisor de carbono, pues las tasas de crecimiento de los árboles (aunque rápidas), son incapaces de contrarrestar las pérdidas de carbono debidas a la descomposición de la materia orgánica en el suelo. Esta pérdida de carbono por descomposición se refuerza si se crean grandes aperturas en la masa (aumenta la

temperatura del suelo y la disponibilidad de humedad y con ello la actividad microbiana). Por lo general, se necesitan de 10 a 15 años antes de que haya suficiente crecimiento forestal para cambiar un área perturbada de fuente a sumidero de carbono.

Algunas estrategias y prácticas concretas de adicionalidad de carbono se enumeran a continuación (Catanzaro and D'Amato, 2019; McKinley et al., 2011; Ontl et al., 2020):

1. Promover árboles de gran diámetro:
 - Alargar turnos de 15 a 20 años o aumentar de 3 a 5 cm el diámetro objetivo final.
 - Considerar la posibilidad de dejar árboles aislados remanentes de grandes dimensiones tras la corta final que queden permanentemente (darán beneficios de carbono, biodiversidad, valor paisajístico, etc.).
2. Aumento del crecimiento para aumentar la producción de madera y las reservas de carbono:
 - Plantar especies y genotipos adaptados/mejorados
 - Fertilización forestal.
3. En las cortas de regeneración, asegurar que se cumplan los objetivos de regeneración (evitar marras, vegetación adventicia, herbivoría, etc.), para evitar pérdidas de productividad.
4. Distribución de edades:
 - Combinación optimizada de árboles jóvenes y viejos (objetivos de carbono, resiliencia y diversidad).
 - Aumento estructura vertical del bosque (ej. con árboles de diferentes edades). Múltiples capas almacenan más carbono. Un bosque estratificado de múltiples edades brindará la oportunidad de aumentar los niveles de "empaquetamiento de carbono".
5. Composición de especies:
 - Especies que no tengan problemas conocidos de plagas o enfermedades forestal y que se adapten bien a las condiciones climáticas futuras (normalmente especies nativas).
 - Mayor diversidad de especies aumenta la resiliencia del bosque.
 - Especies con capacidad de dominar y crecer mucho.
 - Promoción de especies arbóreas con alta densidad de madera (frondosas).
 - Especies tolerantes a la sombra que pueden crecer bajo el dosel principal (ayuda a aumentar el número de árboles vivos que crecen en el bosque, maximizando la oportunidad de empaquetamiento de carbono mediante la creación de bosques de múltiples capas).
6. Madera muerta:
 - Designar árboles de retención como futura madera muerta (se dejan en el sitio hasta que mueren).
 - Tala o anillado de árboles de mala calidad que se sumen a la reserva de madera muerta al tiempo que proporcionan beneficios al hábitat y liberan espacio y recursos para aumentar las tasas de crecimiento de los árboles adyacentes.
7. Mejora silvopastoral en dehesas:
 - Mejora de pastos por siembra y fertilización
 - Régimen de podas y/o descorche
 - Densificación del arbolado
 - Manejo de ganado con cargas adecuadas y rotaciones
 - Mejora del suelo: micorrizas, enmiendas, no laboreo, estructuras de retención de agua de lluvia y escorrentías, etc.

8. Defensa existencias de los reservorios de C forestal para prevenir la severidad con que posibles perturbaciones puedan afectar la permanencia de las existencias de C del monte:
- Reducir pérdidas de C por incendios forestales (i) manteniendo el fuego en ecosistemas adaptados al fuego, (ii) estableciendo barreras naturales o artificiales para frenar la propagación de incendios extremos, (iii) alterar la estructura o modelo de combustible para reducir el riesgo, la gravedad o la extensión de los incendios forestales, etc.
 - Control de especies invasoras si merman el C total del ecosistema
 - Mantener o mejorar la capacidad de los bosques para resistir plagas y patógenos
 - Reducir la competencia (por agua, nutrientes o luz) para disminuir el riesgo de mortalidad de árboles por factores de estrés climático (mejora resiliencia y resistencia a sequías)
 - Alterar la estructura del bosque para reducir el riesgo, la gravedad o la extensión de los daños causados por el viento y el hielo
 - Mejorar la recuperación de los bosques después de las perturbaciones.

Gestión forestal y SE: agua

La gestión forestal sostenible incluye de forma implícita la producción y mantenimiento de servicios ecosistémicos de naturaleza eco-hidrológica como los relacionados con la regulación de los ciclos del carbono y el agua. No obstante, la gestión forestal también puede focalizar explícitamente estos elementos mediante selviculturas *ad hoc* que se han dado en llamar selvicultura del carbono o del agua o selvicultura ecohidrológica en sentido amplio (del Campo et al., 2017; (Del Campo et al., 2022).

El enfoque de selvicultura ecohidrológica asume, por un lado, que el agua está mencionada de forma explícita en los objetivos de gestión, y por otro, que se imbrica en el propio diseño de los tratamientos selvícolas. Una gestión orientada al agua debe cuantificar los flujos y reservorios (o tanques), prestando especial atención a los procesos de infiltración y almacenamiento en suelo y subsuelo (Del Campo et al., 2019), dado su papel clave en el mantenimiento de la resiliencia y funciones de los ecosistemas forestales.

Las relaciones bosque-agua están, por tanto, en la base de la gestión forestal de base ecohidrológica, y es el entendimiento y manipulación de los procesos ecohidrológicos lo que permite objetivar la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con el agua que puedan ser de interés para el gestor. Conviene distinguir entre agua azul y verde cuando nos referimos a la gestión forestal. Así, la primera tiene que ver con las reservas tanto de agua superficial (ríos, lagos y embalses) como subterráneas (acuíferos), mientras que el agua verde se corresponde con aquella que es interceptada o transpirada por la vegetación.

Una reducción del área foliar, por ejemplo, mediante una clara, disminuye la superficie transpirante (reducción flujo agua planta-atmósfera), lo que supone una mayor entrada de precipitación neta (disminución interceptación), una mayor duración del agua del suelo (aumento reserva y mayor excedente en periodo húmedo) y un aumento del uso de agua de los árboles remanentes (aumento vigor, hidratación y crecimiento); si bien también puede aumentar la evaporación desde el suelo y el estrato arbustivo, por una mayor llegada de radiación y el aumento de la turbulencia aerodinámica (del Campo et al., 2019). Estas afecciones dependen de la intensidad del tratamiento, o las clases de edad afectadas, pero también de la ecofisiología hídrica de la especie en cuestión, dada la diversidad de rasgos funcionales de respuesta al estrés hídrico que presentan las especies forestales mediterráneas.

Con respecto a la redistribución del agua infiltrada, los procesos hidrológicos subterráneos (subsistema suelo) se relacionan también con la estructura forestal por su papel determinante en la dinámica de la ladera y la hidrología del suelo (Coenders-Gerrits et al., 2012). Por tanto, la modificación de la vegetación, tanto estructural como taxonómica, afecta a los procesos ecohidrológicos y con ellos a la distribución y flujos del agua, al balance energético del bosque (cociente de Bowen) y a la acumulación y flujos del carbono.

Puede decirse que la silvicultura parte inicialmente de la afección a la disponibilidad de los recursos básicos (agua, luz, nutrientes), lo que a su vez induce cambios en los procesos ecohidrológicos y con ello cambios funcionales en los ciclos de carbono y agua que finalmente determinan la provisión de Servicios Ecosistémicos (Fig. 12).

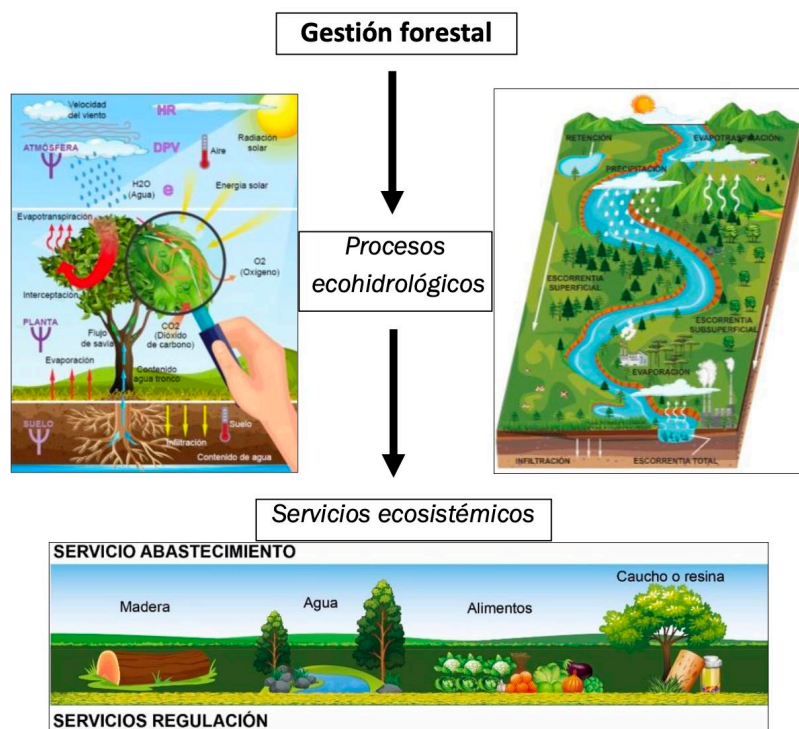


Fig. 12. Representación de la secuencia lógica en la silvicultura ecohidrológica: de los procesos a la función y los servicios ecosistémicos. (Fuente: Vargas Bohórquez, 2021)

Sin embargo, los cambios de las relaciones bosque-agua con la gestión forestal no dependen solo del tipo de bosque, sino también del suelo/fisiografía, del régimen dominante de precipitación, de la meteorología durante y tras la lluvia, etc. Tras una clara, la partición de la lluvia resultante será diferente según la estructura forestal específica que se trate y las características meteorológicas de la lluvia (Llorens et al., 1997; Mateos and Schnabel, 2001; Muzyło et al., 2012). Así, el aumento de la precipitación neta en una estructura forestal aclarada podría contrarrestarse con una mayor evaporación desde el suelo bajo condiciones semiáridas (Sadeghi et al., 2015), con lo que podría argumentarse en contra de la efectividad de la producción de agua en este caso.

El aumento de la humedad del suelo y la recarga del agua subterránea con la gestión forestal también dependen de la heterogeneidad subsuperficial y dinámica de flujo espacio-temporal (conectividad y patrones de flujo preferencial en laderas), que a su vez depende de las características de la lluvia, el estado de humedad del suelo antecedente, la hidrofobicidad, el tipo de suelo y el espesor y la topografía (Lin and Zhou, 2007).

En lo referente a las precipitaciones, su irregularidad, unida a la termicidad del clima, es un factor que no contribuye a la efectividad en la producción de agua azul con la selvicultura (Del Campo et al., 2019; del Campo et al., 2019). Estos autores encontraron que, en zonas semiáridas con períodos húmedos casi inexistentes, es precisa una mayor convectividad de la lluvia para recargar la humedad del suelo y activar otros procesos relacionados con la producción de agua, a diferencia de zonas sub-húmedas más frías donde se dan estaciones de lluvias (y se mantiene la humedad del suelo cerca de capacidad de campo, por lo que las lluvias livianas son suficientes para generar flujos sub-superficiales y subterráneos).

También es preciso indicar que los efectos hidrológicos de las intervenciones selvícolas son relativamente efímeros, de unos 9-10 años (Del Campo et al., 2022).

Es por lo anterior que las respuestas funcionales a la gestión forestal de la cuenca pueden ser muy variables tal y como ya establecía el hidrólogo forestal norteamericano Hibbert en los años 60 del pasado siglo en sus conocidas tres hipótesis (Goeking and Tarboton, 2020):

- La reducción de la cubierta forestal aumenta el rendimiento hídrico.
- El establecimiento de una cubierta forestal en tierras con escasa vegetación disminuye el rendimiento del agua.
- La respuesta al tratamiento es muy variable y, en su mayor parte, impredecible.

Por tanto, la base para guiar los tratamientos forestales, debe ser la vocación funcional de la cuenca más allá de buscar estructuras tipificadas y composición de especies determinadas (Seidl et al., 2016). Solamente desde este enfoque que parte de la función para llegar a la estructura (y no al contrario) se puede objetivar y diseñar una gestión forestal multifuncional que permita identificar situaciones con mayor o menor propensión a alteraciones por sequía, desequilibrios hídricos, problemas de estancamiento del crecimiento, etc. y que más podrían beneficiarse de las prácticas de gestión, optimizando así la toma de decisiones prácticas.

Con base en lo expuesto, el objetivo de la gestión forestal orientada al agua o selvicultura ecohidrológica (SEH) es el de modificar las relaciones bosque-agua intentando alcanzar aquella estructura forestal que optimiza la funcionalidad ecohidrológica del bosque establecida según un Plan u objetivos de gestión (regulación, uso eficiente, respuesta frente a la sequía, etc.). La SEH puede abarcar un abanico amplio de tratamientos forestales al vuelo y/o al suelo, incluyendo cortas de mejora (ej. reducción de la densidad), de regeneración, repoblación forestal, mejora de pastizales/sistemas agrosilvopastorales, fuego técnico, etc., que tendrán distinto matiz o diseño según qué aspectos o funciones concretas del agua sean objetivadas. Será preciso, además, identificar y representar espacial y temporalmente los procesos a modificar, lo cual a menudo requiere el uso de herramientas como los modelos hidrológicos.

8.2. Conveniencia de la gestión forestal para los SE

En numerosas ocasiones, las estrategias o enfoques de gestión forestal se rigen por documentos normativos o planes de ámbito nacional o regional (top-down), y es preciso analizar su conveniencia para los SEs. El grado de conveniencia de la gestión forestal con respecto a los SE seleccionados en el nivel previo, se puede analizar realizando una **matriz de grado de conveniencia** (Tejera-Gimeno and García-Rodríguez, 2006) de gestión forestal para cada SE (Table 14).

Un grado de conveniencia alto para una estrategia/enfoque indicará que es muy conveniente para el SE evaluado y por tanto viable para el cumplimiento de los objetivos generales de nivel I. Por el contrario, un grado de conveniencia de una estrategia/enfoque bajo significa que no contribuye a la mejora o conservación del SE dado ni al logro de los objetivos previstos.

Así, a cada estrategia/enfoque identificado como de utilidad para un SE, se le asigna un valor (escalar) que representa el grado de conveniencia de esa actividad para ese SE. Tejera-Gimeno and García-Rodríguez, (2006) proponen la siguiente escala:

- 2: Actividad muy conveniente
- 1: Actividad conveniente
- 0: Actividad indiferente
- -1: Actividad poco conveniente
- -2: Actividad muy poco conveniente
- ∞ : Actividad no conveniente

Si un ecosistema o activo no es afectado por la actividad i o no existe capacidad para esa actividad, no se evalúa la conveniencia. Esta matriz se realizará según consulta de expertos.

Table 14. Ejemplo **matriz de grado de conveniencia** de gestión forestal para distintos SEs.

Estrategia	Enfoque	Carbo no (C),	Agua- produ cción (A1),	Agua- prote cción (A2),	Fuego (F)	Ecore silien cia (E)	
Prevención y adaptación de los ecosistemas forestales a las previsiones de cambio climático	Promover la heterogeneidad estructural de la masa arbolada principal, favoreciendo la aparición de diferentes clases de edad que garanticen la supervivencia de la masa.	∞ , -2, -1, 1, 0, 1, 2					
	Fomentar la regeneración natural aplicando tratamientos adaptados que favorezcan el reclutamiento de nuevos árboles, como por ejemplo desbroces y claras selectivas y protección mediante cercados, con el fin de garantizar la renovación y permanencia de la masa arbolada.						
	Regeneración asistida mediante la plantación o siembra de especies locales adaptadas, empleando semillas o plántones resistentes y libres de patógenos, que aseguren la salud y persistencia de la masa forestal.						

8.3. Capacidad de acogida del medio de las actividades de gestión

Además de la conveniencia de las actividades de gestión forestal (estrategias y enfoques) para cada SE, es necesario evaluar su **posibilidad de aplicación (capacidad de acogida)** a escala de la unidad de actuación (activo). La posible gestión forestal a aplicar en un activo estará determinada por la productividad del sitio, la estructura forestal, la propiedad, las regulaciones administrativas, los objetivos de la silvicultura y otras posibles limitaciones biofísicas y socioeconómicas.

Se trata, por tanto, de definir qué gestión es posible o viable por activo o, lo que es lo mismo, la capacidad del territorio para acoger la actividad propuesta (enfoque de gestión). Para ello se puede realizar una **matriz de capacidad** para cada activo con respecto a las posibles actividades de gestión forestal. Un enfoque de gestión dará lugar a itinerarios y acciones concretas a lo largo del tiempo.

Matriz de capacidad

Cada activo tendrá aptitudes específicas para soportar una determinada gestión. La capacidad de cada activo respecto a cada alternativa de gestión se evalúa a través de elementos clave que afectan o son afectados por la gestión: pendiente, litología, acceso, erosión, estructura de la cubierta forestal, propiedad, figuras de protección, medios y recursos disponibles, etc. Al

igual que para la matriz de conveniencia, conviene diseñar y rellenar esta matriz según la consulta de expertos.

En cada activo y para cada enfoque de gestión se establece en una matriz de capacidad (Table 15) según la siguiente escala de valores (Tejera-Gimeno y García-Rodríguez, 2006).

- Excluyente: ∞
- Negativo: -1
- Indiferente: 0
- Positivo: 1
- Muy positivo: 2

Mediante la suma de las puntuaciones de cada elemento considerado, se transforma el conjunto de valores de una fila de la matriz (gestión-activo) en un valor escalar único que representa la capacidad del activo para una actividad de gestión *i*. Se puede hacer que todos los elementos tengan el mismo peso o importancia, o bien ponderarlos. Se pueden establecer unas *clases de capacidad*:

- Excluyente
- **Baja** (hasta el percentil 25% del valor máximo)
- **Media** (entre el percentil 25 y 75% del valor máximo)
- **Alta** (hasta el percentil 75% de los del valor máximo)

Table 15. Ejemplo de **matriz de capacidad** en cada activo para cada enfoque de gestión.

ACTIVO <i>i</i>	Enfoque	pendiente, litología, acceso...	Pérdidas de suelo, ,	Estructura de la cubierta Forestal	Propiedad del suelo	Figura a protección	Medios y recursos disponibles	...	Total enfoque
Prevención y adaptación de los ecosistemas forestales a las previsiones de cambio climático	Promover la heterogeneidad estructural de la masa arbolada principal, favoreciendo la aparición de diferentes clases de edad que garanticen la supervivencia de la masa.	∞ , -1, 0, 1, 2							Σ
	Fomentar la regeneración natural aplicando tratamientos adaptados que favorezcan el reclutamiento de nuevos árboles, como por ejemplo desbroces y claras selectivas y protección mediante cercados, con el fin de garantizar la renovación y permanencia de la masa arbolada.								
	Regeneración asistida mediante la plantación o siembra de especies locales adaptadas, empleando semillas o plantones resistentes y libres de patógenos, que aseguren la salud y persistencia de la masa forestal.								
Evolución libre ecosistema	No gestión...								

8.4. Jerarquización de SE por unidad de actuación

El paso final de esta fase es la jerarquización de los SE preseleccionados, lo que dará lugar a un cribado final que destile el/los SE un valor mayor de adecuación para el activo. La priorización de los SE más adecuados marcará los objetivos específicos de la gestión del activo (nivel II),

que se orientarán bien a la mejora y fomento del SE principal o a la combinación de varios para realizar gestión multifuncional del monte. Para este ejercicio podemos recurrir a la matriz de adecuación.

Matriz de adecuación o preferencia.

Para cada activo, sirve para evaluar la adecuación de los SEs preseleccionados y priorizarlos según la capacidad de mejorarlos mediante la gestión forestal mejorada. Para ello, cruzamos las matrices de capacidad y conveniencia para analizar el grado de preferencia de los distintos SE respecto del activo en cuestión.

El resultado nos permitirá determinar cómo afecta cada actividad de gestión a los diferentes SE del activo, así como la suma global de todos los SE preseleccionados (Table 16). Es decir, la priorización se basa en el margen de mejora que, con la gestión forestal, se puede inducir en los SE.

La adecuación se realizará para las actividades de gestión con capacidades medias y altas en el activo. Si varias actividades coinciden espacialmente en el espacio y el tiempo y todas son convenientes para los SE es preciso estudiar su compatibilidad. Así, pueden darse las siguientes situaciones:

- Que en el mismo activo coincidan actividades convenientes para los SE y compatibles, en cuyo caso se pueden realizar todas ellas.
- Que en el mismo polígono coincidan actividades convenientes pero incompatibles.

En este caso se evaluarán en la matriz de adecuación por separado y se escogerá la actividad con mayor grado de adecuación (producto de conveniencia x capacidad). Si los grados de adecuación de dichas actividades fuesen idénticos, se debería establecer un criterio.

Table 16. Ejemplo de **Matriz de adecuación o preferencia** en cada activo para cada SE.

ACTIVO i	capacidad de acogida del territorio	Enfoques de gestión compatibles						Total Actividad de Gestión
		Carbno (C),	Agua-producción (A1),	Agua-protección (A2),	Fuego (F)	Ecore silencia (E)	...	
Promover la heterogeneidad estructural de la masa arbolada principal, favoreciendo la aparición de diferentes clases de edad que garanticen la supervivencia de la masa.	Alta (0.79)	M1 x M2						
Fomentar la regeneración natural aplicando tratamientos adaptados que favorezcan el reclutamiento de nuevos árboles, como por ejemplo desbroces y claras selectivas y protección mediante cercados, con el fin de garantizar la renovación y permanencia de la masa arbolada.	Media (0.68)							
Regeneración asistida mediante la plantación o siembra de especies locales adaptadas, empleando semillas o plantones resistentes y libres de patógenos, que aseguren la salud y persistencia de la masa forestal.	Media (0.55)							
TOTAL SE (jerarquización)								

8.5. Asignación de pesos

Procesos participativos

La selección de un sistema de ponderación depende de la importancia relativa de cada indicador o aspecto evaluado. Indicadores, subíndices e índices agregados en un mismo rango y dirección (por ejemplo [0 – 1]) se pueden ponderar bien por métodos analíticos, consulta a expertos o en procesos participativos y de co-creación tipo “**Living Labs**”.

Living Lab: es un entorno de experimentación donde los usuarios pueden cocrear innovaciones. Laboratorio viviente es un concepto que se define como un ecosistema de innovación abierta. La Comisión Europea caracteriza los Living-Labs como Alianzas Público-Privado-Personas (PPP) para la innovación abierta impulsada por los usuarios. Los Living-Lab se basan en cuatro actividades principales:

- Co-creación: co-diseño de los usuarios y de los productores.
- Exploración: el descubrimiento de los usos emergentes, los comportamientos y las oportunidades del mercado.
- Experimentación: la implementación de escenarios “en vivo” dentro de las comunidades de usuarios.
- Evaluación: evaluación de conceptos, productos y servicios de acuerdo a criterios socio-ergonómicos, socio-cognitivos y socio-económicos.

Donde se habla con distintos actores implicados en el territorio **Stakeholders** y de forma consensuada, entre todos seleccionar los indicadores pertinentes, así como la determinación de sus pesos y umbrales por medio de funciones genéricas. Para la selección de los actores implicados hay todo un proceso que selecciona y prioriza a los participantes que se van a involucrar dentro del Living Lab.

Stakeholders (SH): Concepto creado en la década de 1980 por el filósofo estadounidense Robert Edward Freeman. Hace referencia a cualquier individuo u organización que, de alguna manera, es impactado por las acciones de determinada empresa. En una traducción libre para el español, significa partes interesadas. Freeman sostenía que los grupos de interés son indispensables y que siempre se deberían tener en cuenta para la planificación estratégica de cualquier negocio. De esta manera, entender que el triunfo o fracaso de cualquier empresa, siempre afectará no solo a sus dueños, sino que también afectará a todos los que la rodean. Es decir, a sus trabajadores, a sus socios, proveedores, competidores, familias de todos los involucrados y por supuesto a sus clientes.

El Análisis de Stakeholders (ASH) es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones muy utilizada, la cual contempla la identificación, la determinación de los intereses, el poder, la influencia y la forma de documentar e informar sobre los resultados. En el ASH, se identifica a los individuos o grupos de individuos que se ven afectados directa o indirectamente por un proyecto u organización, tienen interés o pueden afectar a una decisión, y se analizan sistemáticamente sus funciones, relaciones y/o intereses.

Mapeo de SH: consta de 3 fases.

- Identificación: enumeración de los posibles interesados y tener en cuenta, que funciones específicas deben desempeñar durante su participación. Además, deberían clasificarse según las 4 dimensiones del sistema de innovación de cuádruple hélice: Gobierno, Ciudadanos, Academia e Industria y debe garantizarse una representatividad equilibrada de cada dimensión.

- **Análisis:** evaluación de los posibles interesados y tener en cuenta que pueden tener niveles completamente diferentes de interés e influencia en el proyecto. Por tanto, se deben evaluar los siguientes criterios.
 - **Capacidad:** Evaluar la capacidad de recursos de cada parte interesada teniendo en cuenta sus conocimientos, experiencia y capacidades técnicas.
 - **Disposición:** Evaluar la disponibilidad y voluntad de participación de las partes interesadas.
 - **Influencia:** Evaluar el número y la calidad de las conexiones de las partes interesadas, que pueden influir en todas las partes implicadas.
 - **Necesidad:** Evaluar la necesidad de inclusión de las partes interesadas.
- **- Priorización:** clasificación de los posibles interesados con el método AHP para su priorización según sus pesos. Los cuáles deberían estar entre 12-16 participantes que representen a los miembros de la cuádruple hélice y que serán los actores que participen en la formación de Living Lab.

Sin embargo, aun en este punto no se puede determinar el plan de gestión que debe abordarse para obtener el objetivo de gestión, simplemente se sabe qué objetivo es prioritario en el área de estudio donde se quiere aplicar la DSS. Para completar este paso, es necesario fijarse en la distribución espacial del objetivo a conseguir. Esto se logra con el siguiente punto de este apartado.

Método AHP

Cuando se decide asignar pesos o ponderar entre SE u otros factores concurrentes, se puede utilizar el método AHP (Analytic Hierarchy Process, proceso jerárquico analítico) (Saaty, 2008). Este método ampliamente usado permite el análisis y evaluación multicriterio en el análisis de idoneidad y es considerado como el más robusto de análisis multicriterio (Kaim et al., 2018). Este análisis ayuda a capturar tanto aspectos subjetivos como objetivos de una decisión al reducir las decisiones complejas a una serie de comparaciones por pares y luego sintetizar los resultados. Para su empleo, se utiliza un conjunto de criterios y subcriterios de evaluación. Mediante la matriz de comparación por pares (Table 17), el AHP calcula la ponderación de cada criterio o variable. Para las asignaciones de pesos, se recomienda revisar tanto la bibliografía como el asesoramiento de expertos que puedan aportar conocimiento. A través de la matriz de comparación por pares, el AHP calcula la ponderación de cada criterio tomando el vector propio correspondiente al mayor valor propio de la matriz y luego normalizando la suma de sus componentes a la unidad.

Table 17. Ponderación de la importancia para el objetivo en el método AHP.

Intensidad de la importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos factores contribuyen por igual al objetivo
2	Igual importancia a moderada	Cuando se necesita un compromiso
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente un factor sobre otro
4	Importancia moderada a fuerte	Cuando se necesita un compromiso
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente un factor sobre otro
6	Importancia fuerte a muy fuerte	Cuando se necesita un compromiso
7	Importancia muy fuerte	Un factor se ve fuertemente favorecido, y su dominio se muestra en la práctica
8	Importancia muy fuerte a extrema	Cuando se necesita un compromiso

9	Importancia extrema	La evidencia que favorece un factor sobre otro es del más alto orden posible de afirmación
---	---------------------	--

8.6. Cadena lógica para descripción de los SEs individuales

Seleccionados ya definitivamente los SE sobre los que se realizará la contabilidad, resulta útil una descripción de los mismos. SEEA-EA utiliza una herramienta denominada **cadena lógica** que sirve de modelo para registrar información relevante para la descripción y medición de los SEs individuales. Una cadena lógica refleja una secuencia en la que un activo ecosistémico suministra un SE a una unidad económica que utiliza ese SE como insumo para una actividad de producción o consumo, lo que conduce a un beneficio SNA o no SNA.

Las cadenas lógicas pueden presentarse gráficamente o en una tabla (como se muestra en la Table 18).

Table 18. Ejemplos de cadenas lógicas para distintos SE en formato de tabla.

	Servicio ecosistémico	Tipos de ecosistemas comunes	Factores que determinan la oferta		Factores que determinan el uso	Posible(s) métrica(s) física(s) para el servicio ecosistémico	Beneficios	Principales usuarios y beneficiarios
			Ecológicos	Sociales				
Servicios de aprovisionamiento	Servicios de aprovisionamiento de madera	Bosques, florestas, selvas, tierras arboladas	Fertilidad del suelo; clima; suministro de agua; madera, reservas de biomasa y composición; genética	Gestión forestal y prácticas de tala	Demanda de madera	Toneladas brutas de productos maderable, biomasa cosechada	Madera cosechada (beneficio SCN)	Productores forestales; incluidos los hogares
	Suministro de agua	Ecosistemas dulceacuícolas, marinos, y de aguas subterráneas	Cantidad y calidad de las reservas de agua	Gestión de cuencas	Demanda de agua por tipo de calidad	Metros cúbicos de agua, por tipo de calidad	Uso consuntivo o por la economía y la sociedad (beneficio SCN)	Servicios de suministro de agua, consumo doméstico directo y otros usuarios de agua (p.ej., agricultores)

Un cadena lógica para un SE dado tiene varios componentes: (a) el servicio ecosistémico; (b) el tipo o tipos comunes de ecosistema suministradores del servicio; (c) factores ecológicos o sociales que determinan la oferta (ej. tipos de suelo concretos o condición del ecosistema, factores humanos que determinen el suministro de servicios reguladores como la gestión); (d) factores que determinan el uso o cómo las personas y las unidades económicas interactúan con el ecosistema para utilizar el SE; (e) métricas potenciales de cálculo físico (indicador del servicio ecosistémico que variará según la disponibilidad de datos); (f) beneficio o beneficios asociados a través de los cuales se puede identificar el papel de los ecosistemas; y (g) principales usuarios y beneficiarios como unidades económicas que utilizan servicios ecosistémicos. El SEEA-EA detalla cadenas lógicas indicativas para una variedad de servicios ecosistémicos.

9. FASE II: PLANIFICACIÓN FORESTAL

PASO 4: PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN FORESTAL DE SE

La fase de planificación comienza con un enunciado preciso de los objetivos de la gestión forestal mejorada, que necesariamente se formularán a escala de activo o de unidad de actuación.

En situaciones donde los SEs a objetivar ya estén decididos y los enfoques de gestión forestal ya estén establecidos, el proceso de contabilización de SE mediante un plan de GFS puede comenzar en este punto, siendo preciso solo elaborar las cuentas de extensión y de condición del ecosistema a partir de los apartados previos.

En este nivel II, el Plan atiende específicamente a las masas forestales de las unidades de actuación y, por tanto, estas deben inventariarse adecuadamente.

9.1. Declaración de objetivos específicos (nivel II)

En la fase de planificación, los objetivos deben ser más precisos que en la fase previa de diagnóstico (nivel I) donde la vocación establece un enfoque geográfico y temático amplio con una visión de la condición deseada que se puede lograr a través del proyecto. Una buena visión es relativamente general, visionaria (inspiradora) y breve (Gann et al., 2019).

Sin embargo, para los objetivos específicos, es preciso identificar las posibles referencias a alcanzar con la gestión forestal (la condición de referencia con atributos ecológicos y sociales), junto con indicadores específicos para medir el progreso y que fundamentarán en gran medida la evaluación del proyecto (MRV).

Utilizando una jerarquía de términos comúnmente utilizada en planificación (Gann et al., 2019), se identificarán los objetivos específicos siguiendo este orden:

1. **Metas a largo plazo:** identificar el ecosistema objetivo o de referencia hacia el cual se gestionará el activo según lo informado en los pasos previos (SE objetivados). Dará los resultados o las restricciones que se esperan del proyecto.
2. **Objetivos específicos:** declaraciones formales de la condición deseada del activo concretando los resultados provisionales de SE a lo largo de la trayectoria de la gestión. Deben estar claramente vinculados a las metas a largo plazo de SE, ser medibles, estar limitados en el tiempo y ser específicos.
3. **Indicadores:** son medidas cuantificables de los SE que los vinculan directamente con metas y objetivos específicos.

A través de los indicadores, los objetivos deben de verificar los criterios SMART de formulación de objetivos:

- **Específico (S - Specific):** El objetivo describe condiciones concretas y resultados claros y detallados, respondiendo a qué, dónde, cuándo y cómo CAMBIARÁ la situación.
- **Medible (M - Measurable):** Debe ser posible cuantificar el éxito o el progreso mediante indicadores o métricas. Que sea posible cuantificar los fines y beneficios respondiendo a cuánto.
- **Alcanzable (A - Achievable):** El objetivo debe ser realista y posible de lograr con los medios, recursos, capacidades, plazos y disposiciones disponibles. Que sea posible alcanzar el nivel de CAMBIO reflejado en el objetivo.
- **Relevante (R - Relevant):** El objetivo debe ser importante y estar alineado con las metas generales, la visión o la estrategia de la organización o proyecto. Debe permitir que las partes interesadas puedan ver la importancia de la acción.

- **Definido en el tiempo** (T - Time-related): El objetivo debe establecer un momento, plazo o fecha en que se haya logrado.

Una fórmula útil para la redacción de objetivos es: Verbo + variable(s) a modificar + condiciones de aplicación. Dado que los SE se originan en procesos ecosistémicos básicos (producción primaria, procesos hidrológicos y perturbaciones) que interactúan entre sí, y que son los que la gestión forestal puede cambiar, se recomienda que las “variables a modificar” en la fórmula anterior tengan una clara relación con los procesos implicados en el SE seleccionado. Es decir, deben identificarse que procesos ecohidrológicos tienen mayor implicación en las funciones ecohidrológicas de interés.

Por ejemplo, si se quiere favorecer la provisión de agua azul en un bosque mediante claras, el enunciado de objetivos debería explicitar que la silvicultura deberá incrementar la precipitación neta (la compuesta por trascolación y escorrentía fustal) mediante la reducción de la interceptación de la lluvia incidente, de forma que se aumente el agua infiltrada y se generen flujos de ladera hipodérmicos (dentro del suelo) hasta su entrega a cauces definidos. Para la cuantificación recurriremos a los indicadores.

9.2. Definición de indicadores para los SE

La contabilización rigurosa de los Servicios Ecosistémicos (SE) requiere el uso de indicadores técnicamente robustos, sólidos, conceptualmente claros, coherentes, escalables, económicamente viables y operativamente aplicables. Los indicadores constituyen la base empírica para cuantificar la provisión, la regulación y las contribuciones culturales derivadas de los ecosistemas, por lo que su selección condiciona la calidad, la comparabilidad y la utilidad de las cuentas resultantes. Su adecuada selección garantiza que las cuentas de servicios ecosistémicos sean comparables, defendibles y útiles para la gestión, planificación y toma de decisiones públicas y privadas.

Los indicadores de SE deberán cumplir, como mínimo, los siguientes principios:

- **Relevancia ecológica.** El indicador debe reflejar de forma directa y significativa el servicio ecosistémico final proporcionado, evitando medir procesos intermedios o funciones ecológicas que no representen una contribución directa al bienestar humano. Se priorizarán indicadores que capturen el flujo efectivo del servicio (por ejemplo, toneladas de madera extraída, volumen de agua regulada, toneladas de carbono secuestrado).
- **Coherencia conceptual.** El indicador deberá estar claramente vinculado a una categoría de servicio previamente definida en un sistema de clasificación reconocido (por ejemplo, CICES), evitando solapamientos y dobles contabilizaciones. Cada indicador debe corresponder inequívocamente a un único servicio final.
- **Mensurabilidad y objetividad.** Se priorizarán indicadores cuantificables, basados en datos observables o modelizados con metodologías verificables. Los indicadores cualitativos podrán utilizarse en servicios culturales o contextos específicos, pero deberán apoyarse en protocolos estandarizados.
- **Escalabilidad.** El indicador deberá permitir su aplicación a distintas escalas territoriales (rodal, unidad de gestión, municipio, región), manteniendo coherencia metodológica. Cuando no sea posible, se deberán establecer factores de conversión o agregación claramente documentados.
- **Disponibilidad y coste-eficiencia.** Se favorecerá el uso de fuentes de datos existentes (inventarios forestales, cartografía oficial, datos climáticos, estadísticas agrarias o forestales), minimizando costes adicionales de generación de información.
- **Sensibilidad al cambio.** Un indicador adecuado debe responder a variaciones en la gestión, en el estado ecológico o en factores externos (por ejemplo, sequías o

incendios). La capacidad de detectar cambios es esencial para el seguimiento temporal.

Tipología de indicadores.

En el contexto de la contabilidad de SE, los indicadores pueden clasificarse en:

- Indicadores de flujo: Miden la cantidad anual o periódica de servicio generado (ej. m³ de madera/año, t CO₂ eq/año, número de visitas recreativas/año).
- Indicadores de capacidad o potencial: Miden la capacidad estructural del ecosistema para generar un servicio (ej. biomasa aérea total, cobertura arbórea, índice de diversidad).
- Indicadores de condición relacionados: evalúan atributos del ecosistema que influyen en la provisión futura del servicio (ej. estado sanitario de la masa forestal, erosión del suelo).

En el marco de contabilidad ambiental, se recomienda diferenciar claramente entre capacidad y flujo para evitar interpretaciones erróneas. Cada indicador deberá documentarse mediante una ficha técnica (Table 19) que incluya una serie de atributos como definición precisa, unidad de medida, método de cálculo, fuente de datos, periodicidad de actualización, limitaciones e incertidumbre asociada.

Table 19. Ejemplos de ficha de indicador: secuestro anual de carbono forestal.

Campo	Contenido
Código	SE-REG-02
Servicio asociado	Regulación del clima mediante captura y almacenamiento de carbono
Tipo de servicio	Regulación y mantenimiento
Nivel jerárquico	División: Regulación del clima
Definición	Cantidad anual neta de carbono fijado en biomasa aérea forestal
Justificación	Representa flujo directo de mitigación climática
Unidad	t CO ₂ eq / año
Tipo de indicador	Flujo
Escala	Unidad de gestión / municipal / regional
Método de cálculo	Incremento anual de biomasa × factor de conversión carbono × factor CO ₂
Variables	Incremento corriente anual, densidad básica madera, coeficiente carbono
Fuente	Inventario Forestal Nacional, modelos alométricos
Periodicidad	Anual (estimado) / actualización cada ciclo IFN
Resolución	Parcela / rodal
Limitaciones	No incluye carbono del suelo si no se dispone de datos
Doble contabilización	Evitar sumar almacenamiento total y flujo anual
Observaciones	Ajustar tras incendios o eventos extremos

La trazabilidad es esencial para garantizar transparencia y reproducibilidad. Además, en los bosques mediterráneos (alta variabilidad climática, perturbaciones recurrentes de incendios y sequías y fuerte gradiente ecológico), los indicadores deben incorporar la variabilidad interanual y considerar escenarios de cambio climático. Deben permitir ajustes tras perturbaciones severas y evitar el uso exclusivo de medias estáticas.

Indicadores biofísicos recomendados por servicio

En los últimos años, se han desarrollado iniciativas de desarrollo de indicadores como la del Centro Conjunto de Investigación (JRC) de la Comisión Europea, que publicó una revisión de 76 indicadores utilizados en servicios ecosistémicos (European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability., 2012). Maes et al., (2016) propusieron un marco para desarrollar indicadores de SE basados en conjuntos de datos existentes dentro de la Unión Europea (UE).

Aunque la publicación del JRC es una de las revisiones más completas de los indicadores de SE disponibles, los indicadores proporcionados no cubren muchos de descritos por CICES (por ejemplo, los que se centran en recursos genéticos o la mayoría de los que proceden de fuentes abióticas). (Grima et al., 2023) proporcionan una lista de 85 indicadores individuales para medir SE vinculados a los ES descritos por el sistema de clasificación CICES (v5.1). Además, identifican qué indicadores pueden derivarse de datos de teledetección mediante relaciones directas o indirectas con el indicador (en el segundo caso el indicador requiere información o modelado adicional) y qué indicadores no pueden derivarse de teledetección. Ejemplos típicos de indicadores son

- Toneladas de suelo protegido
- tCO₂ eq almacenadas
- Superficie tratada para reducción de combustible
- m³ o t de productos forestales
- N° de visitantes / uso recreativo

Métodos de cálculo

Los métodos de cálculo de los indicadores de SE deben basarse en procedimientos cuantitativos transparentes, reproducibles y coherentes con la naturaleza del servicio evaluado. Como ya se ha mencionado, deben aludir al proceso que modula el SE y que es afectado por la gestión forestal. En general, el cálculo se realiza mediante la combinación de variables biofísicas observadas o estimadas (por ejemplo, superficie forestal, biomasa, cobertura arbórea, producción anual o características del suelo) con coeficientes técnicos o modelos simplificados que permiten traducir dichas variables en unidades representativas del servicio (por ejemplo, m³ de agua regulada, toneladas de carbono secuestrado o número potencial de visitas recreativas). Siempre que sea posible, se priorizará el uso de datos procedentes de fuentes oficiales o inventarios existentes, complementados con información geoespacial en sistemas de información geográfica (SIG). Los métodos de cálculo deberán quedar claramente documentados, especificando las fórmulas empleadas, los parámetros utilizados, las fuentes de datos y los supuestos adoptados, con el fin de garantizar la trazabilidad, comparabilidad y actualización futura de las cuentas de servicios ecosistémicos. Podemos distinguir:

- **Cálculos directos:** datos en relación directa con el indicador, donde se observa una relación directa entre la estructura y el indicador. Por tanto, no es necesario disponer de datos adicionales.
- **Indicadores proxy:** datos en relación indirecta con el indicador que requieren de datos o modelado adicional para cubrir la brecha entre lo que se mide y las propiedades de estructura asociadas al indicador. Suele ocurrir con teledetección.

Ejemplos prácticos de cálculo por servicio

En general se sugiere la siguiente composición (Fig. 13), tomando el ejemplo de (Ortega-Barrueta et al., 2025):

U. Ortega-Barrueta et al. *Ecosystem Services 76 (2025) 101793*

Table 1
Summary of the ES evaluated, including their classification by type (categorised into provision, regulation and cultural), the specific service assessed, the indicator used, the method of assessment, and the information required for calculation.

Type	Ecosystem service	CICES V5.2 Code	Indicator	Method	Information used for the calculation
Provision	Food provision: edible fungi	1.1.1.1	Species richness of edible fungi (Felipe-Lucia et al., 2018)	DNA sequencing of soil fungi	Calvo et al., 2016
	Timber provision	1.1.1.2	Extractable Wood Volume (EWV) ($m^3 ha^{-1} yr^{-1}$) (Jullian et al., 2021)	$EWV = (Volume (m^3) * Tree density (tree ha^{-1})) / stand age (year)$	Species specific cubing equations (Basque Government, 2005)
Regulation	Habitat maintenance	2.3.2.3	Plant species diversity (Ampoorter et al., 2020)	Shannon Diversity Index	Plant inventories
	Climate regulation: carbon storage	2.3.2.4			
		2.3.2.5			
		2.1.1.2	Total carbon content (CT) (tC/ha) (Peña and Ametzaga-Arregi, 2023)	$CT = CBv + CBm + Cs$ $CBv = \text{Carbon content in living biomass (tC/ha)}$ $CBm = \text{Carbon content in dead biomass (tC/ha)}$ $Cs = \text{Soil organic carbon content (tC/ha)}$	Peña and Ametzaga-Arregi, 2023
	Air quality regulation	2.3.6.1	Canopy cover (%) (Alamgir et al., 2016)	Fisheye canopy photos	
	Water regulation	2.2.2.1	Water Retention Index (WRI) (Vandecasteele et al., 2018)	$WRI = (WRv Rv + WRgw Rgw + WRs Rs + Wslope Slope)$ $WRv, WRgw, WRs, Wslope = \text{Weights for each factor}$ $Rv = \text{Vegetation interception}$ $Rgw = \text{Substrate permeability}$ $Rs = \text{Soil water retention capacity}$	Peña and Ametzaga-Arregi, 2023
		2.2.2.2			
	Soil erosion control	2.2.1.1	Vegetation Stratification Index (VSI) (Alamgir et al., 2016)	$VSI = a_1 C_T + a_2 C_s + a_3 C_G + a_4 C_L$ $a_1, a_2, a_3, a_4 = \text{Weights for each factor}$	Zhongming et al., 2010
		2.2.1.2			

Fig. 13. Ejemplo práctico de información asociada al cálculo de SEs: clasificación a varios niveles y sistemas, denominación del indicador, método para su determinación, información requerida y fuente (Fuente: Ortega-Barrueta et al., 2025)

9.3. Inventario del activo y zonificación. Línea base

El monte o EAA se estratifica o zonifica en activos o unidades de actuación. Cada activo diferenciado o unidad de actuación debe inventariarse teniendo en cuenta criterios de inventario forestal tradicional y de ecohidrología (ecohidrovoxel).

Este inventario de referencia, sirve para:

- Valorar la situación actual (suele coincidir con la referencia inicial o de base) de pre-proyecto, que dará la magnitud (estado y tasas) de los procesos identificados en el punto previo mediante las variables que los modulan (p. ej., características fisionómicas de la masa, naturaleza de los suelos, microclimas asociados a la topografía y fisiografía, etc.).
- **Identificar las acciones forestales pertinentes en cada UA** que afectan a los procesos y las variables que los gobiernan, lo que dará el margen de acción para la silvicultura ecohidrológica.
- Especificar un itinerario selvícola aproximado sobre el que acotar las acciones en el tiempo y espacio.

El inventario incluye vuelo, (diámetro a la altura del pecho (DBH), altura dominante, fracción de cabida cubierta con escuadra óptica, índice de área foliar (LAI), conteo de pies, núcleos para dendrocronología en 10 árboles, etc.) suelo y topografía local (muestra compuesta para su posterior análisis en laboratorio de textura, profundidad, densidad aparente, contenido en COS, estructura del subsuelo y saprolito, % elementos gruesos, signos de erosión y flujos de ladera predominantes, pH, etc).

La línea base (o de referencia)

En el contexto de la evaluación y contabilización de SE, una línea base es la situación de referencia inicial frente a la cual se comparan los cambios en la provisión de SE derivados de una intervención de gestión a lo largo del tiempo. Es decir, la línea base representa el estado

cuantificado de los indicadores seleccionados en el momento inicial o bajo un escenario de referencia, normalmente anterior a la aplicación de medidas de gestión, restauración o conservación. Esta referencia permite evaluar de manera objetiva si los servicios ecosistémicos han mejorado, disminuido o permanecido estables tras la implementación de determinadas actuaciones.

En términos metodológicos, la línea base se construye a partir de los valores iniciales de los indicadores biofísicos o socioeconómicos utilizados para medir los SE (por ejemplo, toneladas de carbono almacenado, volumen de agua regulada, superficie de hábitat disponible o número de visitantes). Estos valores pueden derivarse de inventarios forestales, cartografía temática, datos históricos o modelos ecológicos.

La definición de una línea base es especialmente importante en contextos donde la gestión forestal, está asociada a la generación de créditos ambientales, ya que permite demostrar de forma verificable la adicionalidad o mejora generada respecto a la situación inicial.

Para garantizar su utilidad técnica, la línea base debe estar claramente documentada, indicando el año o periodo de referencia, las fuentes de información utilizadas, los métodos de cálculo aplicados y las posibles incertidumbres asociadas. De este modo, se asegura la transparencia del proceso y la comparabilidad de los resultados en evaluaciones futuras.

9.4. Acciones e itinerarios de gestión mejorada. Tabla de adicionalidad de la GFM

Corresponde a la identificación y diseño de las Acciones de GF mejorada o virtuosas. El itinerario de gestión forestal mejorada es el conjunto planificado de actuaciones silvícolas y de gestión aplicadas a una masa forestal con el objetivo de mejorar, respecto a la línea base, la provisión de uno o varios servicios ecosistémicos. Este itinerario define la secuencia temporal de intervenciones previstas —por ejemplo, claras, tratamientos silvícolas, restauración de la estructura del bosque, reducción de combustible o mejoras de biodiversidad— y describe cómo dichas actuaciones modifican la dinámica del ecosistema y, en consecuencia, los indicadores utilizados para cuantificar los servicios ecosistémicos.

En términos metodológicos, el itinerario de gestión forestal mejorada constituye el escenario de gestión futura que se compara con la línea base. Mientras que la línea base representa la evolución esperada del sistema bajo condiciones de gestión actuales o inerciales, el itinerario de gestión mejorada introduce cambios destinados a incrementar la capacidad del ecosistema para generar servicios, tales como mayor captura de carbono, mejora de la regulación hidrológica, reducción del riesgo de incendios, aumento de la biodiversidad o mejora del uso recreativo del bosque.

Para que el itinerario sea evaluable en el marco de la contabilización de servicios ecosistémicos, debe describirse con suficiente detalle, incluyendo tipo de actuaciones, intensidad, periodicidad, superficie afectada y horizonte temporal de planificación. A partir de esta descripción se pueden estimar los cambios esperados en los indicadores biofísicos seleccionados, permitiendo cuantificar la mejora o adicionalidad de los servicios ecosistémicos generados por la gestión forestal en comparación con la línea base.

A continuación, se presenta un ejemplo orientativo (Table 20) de itinerario silvícola para una masa de *Pinus halepensis* (pino carrasco) diseñado con el objetivo específico de maximizar el flujo anual de carbono ($t\ CO_2\ eq/año$) y no necesariamente el stock total acumulado.

Table 20. Itinerario de gestión forestal orientado a maximizar el flujo de carbono en masa de pino carrasco (0–80 años). El principio silvícola que se sigue es mantener altas tasas de crecimiento (mayor incremento corriente anual), reduciendo competencia mediante claras relativamente tempranas. Se favorece el crecimiento radial y estabilidad evitando fases largas de estancamiento

de la masa. Para ello, se extrae biomasa periódicamente (parte del carbono pasa a productos o a bioenergía). Los valores de carbono son aproximaciones y deben ajustarse localmente con datos de inventario.

Edad (años)	Operación selvícola	Descripción técnica	Densidad tras intervención (pies/ha)	Área basal antes (m ² /ha)	Área basal extraída (m ² /ha)	Área basal final (m ² /ha)	Volumen extraído (m ³ /ha)	Biomasa extraída (t CO ₂ eq/ha)	Flujo anual estimado de carbono posterior (t CO ₂ eq/ha/año)
0	Regeneración	Regeneración natural o plantación	2000–2500	0	0	0	0	0	1–2
8–10	Limpia / clareos tempranos	Eliminación de pies dominados y deformes	1500–1800	5	1	4	3	3–5	4–5
15–18	Primera clara	Reducción de competencia intraespecífica	900–1100	12	3	9	10	8–12	6–7
25–30	Segunda clara	Selección de pies dominantes	500–650	20	7	13	22	12–16	7–8
35–40	Tercera clara	Mejora de estabilidad estructural	300–400	25	8	17	34	15–18	6–7
50–55	Clara de madurez	Apertura parcial del dosel	220–260	27	6	21	45	12–15	5–6
65–70	Clara final ligera	Optimización de crecimiento final	160–180	28	3	25	52	8–10	4–5
80	Corta final / regeneración	Aprovechamiento principal y reinicio del ciclo	0	30	30	0	130	80–120	Reinicio ciclo

Tratamiento de la incertidumbre

Limitar las incertidumbres y maximizar la robustez de los datos en las cuentas de ecosistemas es primordial. En armonía con lo establecido en el SEEA-EA, se consideran cuatro fuentes de incertidumbre en la contabilidad de ecosistemas: (a) la medición física de los servicios y activos ecosistémicos; (b) la valoración de los servicios y activos ecosistémicos; (c) la asociada a la dinámica de los ecosistemas (cambios en existencias y flujos de los servicios ecosistémicos con el tiempo); y (d) la relativa a precios y valores futuros de los servicios ecosistémicos.

Las estrategias para abordar estas distintas fuentes de incertidumbre variarán en función de la disponibilidad de datos y los servicios relevantes seleccionados para la contabilidad del ecosistema. En cualquier caso, todo trabajo contable debe documentar el alcance de la medición, las definiciones aplicadas, los métodos utilizados y las suposiciones hechas.

En el Reglamento (UE) 2024/3012 de la UE sobre la eliminación de carbono (CFCR) se habla de dar cuenta de las incertidumbres de una forma conservadora y de **cuantificar con robustez y precisión**, lo que significa: “de manera relevante, conservadora, precisa, completa, consistente, comparable y transparente, de acuerdo con la evidencia científica más reciente disponible”. En la metodología de plantación de árboles del CFCR, cuyo texto está consolidado, los cálculos incluyen un factor de deducción por incertidumbre (fracción entre 0-1) que se calcula con la desviación estándar o el error estándar (depende de la metodología) y el nivel de confianza deseado (90% en carbono de la biomasa y 70% en el carbono orgánico del suelo). Se recomienda utilizar esta metodología de cálculo.

Tabla de adicionalidad de la GFM

La tabla de adicionalidad (Table 21) en la provisión de un SE en una EAA recoge el flujos del SE suministrados por distintos tipos de ecosistemas y activos dentro del EAA comparando escenarios de gestión para toda la EAA en el tiempo, y puede detallarse para distintos momentos del periodo contable y para el valor de cierre. Da el resultado de la oferta total registrada del SE en cuestión.

Table 21. Oferta total de un SE registrada en la tabla de adicionalidad en su provisión por distintos tipos de ecosistemas y activos dentro del EAA. Se comparan escenarios de gestión en distintos momentos del periodo contable y en el valor de cierre.

Ecosistema	Activo	Extensión	SE (uds.): Flujo anual estimado de carbono (t CO ₂ eq/ha/año)										
			t0	t1			ti			tf (cierre)			Cambio
			Referencia t0	Gest. mejorada	Línea base	Δ	Gest. mejorada	Línea base	Δ	Gest. mejorada	Línea base	Δ	
Pinar latizal	UA1	5 ha	2.38	4.12	2.20	1.92	3.22	2.00	1.22	3.50	2.1	1.40	
	UA2												
	UA3												
Pinar monte bravo	UA1												
Matorral	UA1												
Bosque frondosas	UA1												
	UA2												
Total													

10. PASO5. TABLA DE CUENTAS FÍSICAS DE USO Y OFERTA DE SE

El objetivo de **contabilizar los SEs en términos físicos** es registrar, en una estructura contable, los flujos de SEs durante un periodo contable. La cuantificación física de SE puede centrarse en el lado de la **oferta** de los flujos de SE, pero también puede realizarse en el **uso** de SEs. Para ello se usan **tablas de oferta y uso**, que son tablas contables estructuradas para registrar los flujos de los SEs finales entre unidades económicas y ecosistemas y los flujos de SEs intermedios entre ecosistemas.

Un enfoque clave en la contabilidad de los SEs es la conciliación de la oferta y uso de los SEs a través de múltiples activos ecosistémicos y múltiples usuarios. Por tanto, la estructura de estas tablas es tal que la oferta de SE debe ser igual al uso de dichos SE durante un periodo contable. Además, tanto oferta como uso se deben registrar en la misma unidad de medida.

Esta cuenta de oferta y uso se establece con los diferentes SEs de interés proporcionados por todos los tipos de ecosistemas dentro de la EAA.

10.1. Usuarios de SEs

En el marco del SEEA EA, los **usuarios** son las unidades económicas (hogares, empresas, administraciones públicas u otras instituciones) que utilizan los servicios ecosistémicos registrados en las cuentas. Son entidades que consumen o emplean el flujo de servicios ecosistémicos en sus actividades.

Los **beneficiarios** por su parte, son aquellos que reciben y disfrutan los beneficios finales derivados de los servicios ecosistémicos. el concepto se centra en quién experimenta el bienestar, no necesariamente en quién realiza la transacción económica. Incluye a la sociedad en general, grupos sociales o individuos que reciben el beneficio final. Por tanto, un beneficiario puede no ser el usuario directo del servicio (ej.: regulación climática global).

- Usuario: utiliza el servicio dentro del marco de contabilidad.

- Beneficiario: disfruta el beneficio, directa o indirectamente.

Table 22. Diferentes Usuarios y Beneficiarios para un SE según el marco de contabilidad SEEA-EA.

Servicio ecosistémico	Usuario (SEEA EA)	Beneficiario final
Captura de carbono	Empresas y administraciones que contabilizan reducciones o compensaciones	Sociedad global que recibe mitigación climática
Producción de madera	Empresa maderera	Consumidores de productos de madera
Regulación hídrica en cuencas forestales	Empresa hidroeléctrica, regantes	Hogares con suministro estable, ciudades protegidas frente a inundaciones
Recreación en bosques	Gestor del área recreativa (unidad económica)	Visitantes que disfrutan del ocio

10.2. Tabla de cuentas físicas de SE: oferta

La tabla de oferta debe recoger los flujos de los diferentes SEs, suministrados por distintos tipos de ecosistemas y activos, para el periodo contable (Table 23). Cada SE se registra como suministrado por un tipo de ecosistema. Si bien muchos SEs son suministrados por un único tipo de ecosistema en un solo lugar, otros SEs son proporcionados por una combinación de tipos de ecosistema (por ejemplo, servicios de mitigación de inundaciones proporcionados por una combinación de ecosistemas dentro de una zona ribereña). En estas situaciones, se asigna la oferta a los activos y tipos de ecosistemas relevantes.

Table 23. Oferta total de los diferentes SEs suministrados por los tipos de ecosistemas y activos en una EAA para el periodo contable.

	Servicios ecosistémicos seleccionados	Servicios de aprovisionamiento	Servicios de regulación y mantenimiento	
		Aprovisionamiento de biomasa	Servicios de regulación del clima mundial	Servicios de regulación de agua
		Servicios de aprovisionamiento de madera		
	Unds. de medida	m3	t CO2	M3 de agua retenidos
Pinar latizal				
Pinar monte bravo				
Matorral				
Bosque frondosas				
Oferta total por activos ecosistemas EAA				
Importaciones	SE Final			
	SE Intermedios			
OFERTA TOTAL				

10.3. Tabla de cuentas físicas de SE: uso

La tabla de uso registra el uso de diferentes servicios ecosistémicos por unidades económicas (servicios ecosistémicos finales) y por otros activos ecosistémicos (servicios intermedios). Las unidades económicas se clasifican siguiendo la estructura propuesta por el SEDA-EA: industria, gobierno y hogares, que reflejan el consumo de SEs. (Table 24)

Cabe señalar que el uso total de los SEs finales suministrados por los ecosistemas dentro de un EAA incluye las exportaciones de SEs finales. Así los SEs usados por unidades económicas no residentes, es decir, unidades económicas que tengan un centro de interés económico fuera de la EAA (por ejemplo, servicios relacionados con el ocio utilizados por visitantes que viven fuera de la EAA) se registran en una columna de exportaciones de SEs.

Cada columna puede desglosarse en subcategorías. Por ej. para hogares, puede hacerse por hogares rurales/urbanos para distinguir diferentes tipos de hogares. Para cada servicio ecosistémico, el suministro total registrado en la tabla de oferta debe ser igual al uso total registrado en la tabla de uso.

Table 24. Cuenta de flujo de servicios ecosistémicos - términos físicos. Oferta vs uso de los diferentes SEs suministrados por los tipos de ecosistemas y activos en una EAA para el periodo contable.

OFERTA			UNIDAD ES DE MEDIDA										Bosque	Lago	Tierra de cultivo	Zona urbana	Humedal	Pradera	Oferta total	Oferta por	Fin	Int	OFERTA TOTAL
Servicios ecosistémicos seleccionados																							
Servicios de aprovisionamiento																							
	Aprovisionamiento de biomasa	Aprovisionamiento de cultivos	toneladas												150			150	0	0		150	
		Servicios de aprovisionamiento de madera	m³											140				140	0	0		140	
Servicios de regulación y mantenimiento																							
	Servicios de regulación del clima mundial		toneladas CO2											150			5	200	250	425	0	0	425
	Servicios de depuración de agua		toneladas de N eliminadas														7		7	0	0		7
Servicios culturales																							
	Servicios de carácter recreativo		# visitas											1,500	5,000		2,500	800	9,800	0	0		9,800
UTILIZACION			UNIDAD ES DE MEDIDA	Agricultura	Silvicultura	Pesca	Suministro de electricidad, Total de las industrias	Consumo por parte de los hogares	Consumo por parte de los hogares	Utilización total por unidades económicas residentes	Exportaciones - servicios	Utilización total por las unidades económicas	Bosque	Lago	Tierra de cultivo	Zona urbana	Humedal	Pradera submarina	Utilización total de activos ecosistémicos residentes	Exportaciones - servicios	Utilización total por activos	UTILIZACIÓN TOTAL	

Servicios ecosistémicos seleccionados																					
Servicios de aprovisionamiento																					
	Aprovisionamiento de biomasa	Aprovisionamiento de cultivos	toneladas	150			150			150	150							0	0	0	150
		Servicios de aprovisionamiento de madera	m³	140			140			140	140							0	0	0	140
Servicios de regulación y mantenimiento																					
	Servicios de regulación del clima mundial	toneladas CO2					0	425		425	425							0	0	0	425
	Servicios de depuración de agua		toneladas de N eliminadas				7	7		7	7							0	0	0	7
Servicios culturales																					
	Servicios de carácter recreativo		# visitas				0		9,800	9,800	9,800							0	0	0	9,800

La tabla supone la cuenta de flujo de los servicios ecosistémicos - términos físicos. Mediante esta tabla, las cuentas de flujo de servicios ecosistémicos registran los flujos de servicios ecosistémicos finales suministrados por los activos ecosistémicos y utilizados por las unidades económicas durante un periodo contable, y también permiten registrar flujos intermedios de servicios entre los activos ecosistémicos.

11. PASO 6: VALORACIÓN ECONÓMICA (CUANDO SEA PERTINENTE)

Este punto no se ha desarrollado en esta versión del manual, si bien los autores no desean pasar por alto su importancia, ya que en él se deben contemplar aspectos como cuándo valorar y cuándo no, los métodos aplicables en contextos mediterráneos y los valores de referencia y transferencia de beneficios. La valoración económica es opcional y solo se aplicará cuando apoye decisiones concretas, cuando sea requerida por un instrumento financiero o cuando exista suficiente robustez técnica. Entre los métodos más comunes se encuentran el de los precios de mercado, el de costes evitados y el de transferencia de beneficios.

El resultado de esta valoración son las cuentas de flujo de servicios ecosistémicos en términos monetarios. Las estimaciones de los SEs en términos monetarios suelen basarse en estimaciones de precios de los servicios ecosistémicos individuales multiplicados por las cantidades físicas registradas en la cuenta de flujo de servicios ecosistémicos en términos físicos.

FASE III. SEGUIMIENTO. PASO7. PLAN DE SEGUIMIENTO, REPORTE Y VERIFICACIÓN DEL PLAN

Tras el Plan y los cálculos de adicionalidad en SEs, es preciso establecer cómo se seguirán y se validarán las mejoras en los SEs y el logro de los objetivos de la gestión forestal. Para ello, se debe definir un plan de seguimiento que abarque desde el inicio de la actividad hasta el final del periodo de seguimiento, para identificar la magnitud y las tasas de cambio, detectar y evaluar si las acciones de gestión planificadas están siendo efectivas, proceder, en su caso, a certificaciones parciales y, en cualquier momento, monitorear el progreso logrado con la gestión mejorada.

11.1. MRV: Monitoreo, Reporte y Verificación

En la práctica hay tres procesos independientes, pero relacionados: la medición y monitoreo (M, o **seguimiento**, como término más adecuado en español), el reporte (R o **informe**, como término más apropiado en español) y la verificación (V). Estos tres procesos se conocen como el sistema **MRV** y son fundamentales para evaluar e informar sobre la efectividad de las medidas de adicionalidad en SEs a lo largo del tiempo, así como para atraer apoyo financiero de diversas fuentes. Es importante destacar que los expertos a cargo del seguimiento y la presentación de informes no deben realizar también la verificación, debido a un posible conflicto de intereses. Según esto, MRV incluye los siguientes pasos y procedimientos:

- **Seguimiento:** Medir o monitorear (M) datos e información (directamente o indirectamente) derivados de acciones de gestión forestal mejorada. Esto puede implicar la medición física directa o la estimación, utilizando datos y variables relacionadas con los procesos ecológicos que regulan estos ciclos.
- **Informe (R):** Compilar la información proveniente del seguimiento en un formato estandarizado para hacerla accesible a una variedad de usuarios. Este formato, como ya se ha justificado en este manual, será el de contabilidad de SEs del SEEA-EA de las Naciones Unidas. Con cuentas de extensión, condición (I y II), y oferta en unidades físicas.
- **Verificación (V):** Someter periódicamente la información reportada a alguna forma de revisión, análisis o evaluación independiente para establecer su integridad y confiabilidad. La verificación ayuda a garantizar la precisión y la conformidad con los procedimientos establecidos, y puede proporcionar comentarios significativos para futuras mejoras.

Los sistemas MRV deben ser transparentes, completos, consistentes, comparables y precisos; y también deben considerar los principios de sentido común de ser pragmáticos, rentables, escalables, oportunos y operativos (Batjes et al., 2024).

11.2. Periodos temporales en el ciclo del proyecto

En el contexto europeo, por ejemplo, en el Reglamento de la UE sobre el marco de certificación de la eliminación de carbono (CRCF), se habla de distintos lapsos temporales relacionados con el ciclo del proyecto de mejora de los SEs. La diferencia fundamental entre ellos radica en el propósito y el momento (Table 25). El periodo de actividad es el tiempo durante el cual se genera un SE mediante una actuación, mientras que el periodo de seguimiento es el tiempo durante el cual se garantiza que esta mejora permanece (almacenada, en el caso del carbono). El periodo de contabilidad se define como el intervalo temporal durante el cual se cuantifican y registran los cambios en los SEs, a partir de los datos obtenidos en el seguimiento. Conceptualmente, el periodo de actividad (gestión) → genera cambios en el ecosistema; el periodo de seguimiento (medición) → proporciona datos; el periodo de contabilidad (cálculo y reporte) → cuantifica, registra y reporta los flujos y/o existencias de un SE.

Table 25. Distintos lapsos temporales relacionados con el ciclo del proyecto de mejora de SEs

Elemento	Función
Periodo de actividad	Define las actuaciones selvícolas
Periodo de seguimiento	Mide los efectos
Periodo de contabilidad	Calcula los resultados

La contabilidad traduce en unidades de SE verificables los cambios generados por la gestión y medidos en el seguimiento. La coherencia entre actividad–seguimiento–contabilidad es esencial.

Periodo de Actividad

Es el tiempo durante el cual el operador realiza la práctica activa para generar o mejorar un SE (por ejemplo, el itinerario de gestión forestal mejorada). Este intervalo de tiempo tiene como función generar activamente el SE, cuantificable en unidades de certificación.

En la gestión forestal sostenible, se suele establecer una duración que coincida con del período de certificación. Por tanto, diferirá según el tipo de proyecto, las actividades contempladas en él y las condiciones de crecimiento del bosque que conduzcan al logro de los objetivos. Es el periodo durante el cual se generan los créditos, y suele tener un mínimo entre 5 y 20 años.

Periodo de Seguimiento

El objetivo del seguimiento es medir la producción activa del SE para determinar si se ha alcanzado el objetivo. Por tanto, el periodo de seguimiento es posterior o simultáneo a la actividad y es donde el operador debe medir, comprobar y reportar la persistencia del SE (p. ej., liberación a la atmósfera en el caso del C). Su función también es garantizar la durabilidad del SE y gestionar el riesgo de reversión o de deterioro. La duración suele ser mayor que el periodo de actividad o, como mínimo, coincidir con él. Durante el periodo de seguimiento se mide y verifica el efecto de las actuaciones mediante su impacto en el mantenimiento y mejora del SE, tal como se ha previsto en el plan.

En un sistema de génesis de créditos, las unidades o créditos totales del SE caducan al final de la vigencia del periodo de seguimiento si este no se renueva. Por ejemplo, un proyecto de créditos de carbono puede terminar su periodo de actividad (ya no se están haciendo nuevas plantaciones), pero continuar en un periodo de seguimiento prolongado (monitoreando que el bosque plantado no se queme ni se tale) para asegurar que el certificado emitido sea válido.

El periodo de seguimiento puede tener lugar de forma continua o en intervalos (p. ej., cada 5 años) y se basa en los indicadores del SE definidos en el plan como la biomasa, el carbono, la área basal, etc. Es el periodo en el que se recogen los datos para la contabilidad.

Periodo de contabilidad de los Servicios Ecosistémicos

El periodo de contabilidad es el intervalo temporal durante el cual se cuantifican, registran y reportan los flujos y/o existencias de un SE. Es el periodo en el que se usan los datos recopilados durante el seguimiento y que refleja los efectos del periodo de actividad. Según se expone en este manual, la contabilidad se realiza conforme a las reglas del SEEA-EA de las Naciones Unidas.

En el ámbito forestal, el periodo de contabilidad suele expresarse en bloques anuales o plurianuales (1, 5 o 10 años), más cortos que el de seguimiento. Corresponde al intervalo en el que se estiman los cambios en los indicadores (por ejemplo, el incremento de la biomasa o la captura neta de CO₂). Este periodo debe ser coherente con la dinámica de la masa forestal, el tipo de proyecto y la disponibilidad de datos (inventarios, revisiones, etc.). Es el periodo clave para estimar flujos de SE, calcular adicionalidad y generar créditos

11.3. Seguimiento del Plan

El objetivo del plan de seguimiento es establecer puntos de control que permitan conocer con fiabilidad los cambios en los SE a incluir en la contabilidad y sirvan de base para los informes de verificación. La medición y el seguimiento se realizan en intervalos establecidos (p. ej., cinco años) durante el periodo de seguimiento del proyecto, donde se mide y verifica el SE en los términos de oferta y uso (beneficio) previstos según lo establecido en el plan. Ello permite conocer si se mantiene el plan previsto y, en caso negativo, aportar aclaraciones que incluyan la magnitud del cambio, las razones del cambio, si hay algún comprador afectado y cómo se

compensará a este. En determinados casos, el seguimiento también atenderá al cumplimiento de los requisitos de responsabilidad y de los cobeneficios de sostenibilidad y biodiversidad.

El plan de seguimiento incluye información sobre los indicadores, las prácticas o actuaciones del proyecto y sobre los mecanismos de responsabilidad (*Tabla 26*). Debe describir el proceso y el cronograma a seguir para el monitoreo de los datos, parámetros e indicadores, incluyendo detalles sobre:

- La estructura organizativa, las responsabilidades y las competencias del personal que lleva a cabo las actividades de monitoreo.
- Los métodos utilizados para generar/medir, registrar, almacenar, agregar, cotejar y reportar los datos sobre los parámetros o indicadores monitoreados.
- La implementación del tipo de muestreo, incluyendo los niveles de precisión objetivo, el tamaño de las muestras, la ubicación de los sitios de muestreo, la estratificación, la frecuencia de medición y los procedimientos de control de calidad (QA/QC).

Para cada parámetro o indicador clave, deberá aportarse información suficiente como la siguiente (*Tabla 19* y *Tabla 26*):

Tabla 26. Ejemplo de información a recoger en el reporte de métricas o indicadores del seguimiento.

Campo	Contenido
Código	SE-REG-02 (<i>Tabla 19</i>)
Descripción	Proporcionar una breve descripción del dato/parámetro/ Indicador así como su propósito (en qué cálculos se usa) (<i>Tabla 19</i>)
Descripción de los métodos y procedimientos de medición a aplicar	Especificar los métodos y procedimientos de medición, normas o protocolos a seguir, y la persona/entidad responsable. Incluir información relevante sobre la precisión (por ejemplo, exactitud del equipo o pruebas de laboratorio).
Periodo de monitoreo/registro	Especificar el periodo temporal al que corresponde la medición y registro
Equipo de monitoreo	Identificar el equipo utilizado, incluyendo tipo, clase de exactitud y número de serie, si aplica
Procedimientos de Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC)	Describir los procedimientos QA/QC, incluyendo procedimientos de calibración, si corresponde
Comentarios	Proporcionar comentarios adicionales

Respecto a la información de las prácticas y responsabilidad, el plan debe hacer constar los procedimientos utilizados para registrar la información, gestionar cualquier auditoría interna realizada y cualquier incumplimiento identificado.

Por su parte, la presentación de los informes de contabilidad asociados a este seguimiento y su verificación son importantes para garantizar la transparencia, la buena gobernanza y la credibilidad de los resultados. Deben indicarse las distintas cuentas de acuerdo a los criterios del SEEA-EA, junto con los beneficios totales y desglosados estimados ex ante, y los logrados durante el período de seguimiento, indicando y justificando las diferencias porcentuales. Se muestra un formato estandarizado de informe para el reporte de la contabilización:

1. Información de referencia administrativa del proyecto: Nombre y Registro ID del proyecto, ubicación, área bruta (ha) y neta (ha).
2. Estado de implementación del proyecto durante el periodo a reportar.
3. Obtención de datos y fuentes de información utilizadas (Copernicus, ESA, asistencia externa, experimentos, observaciones, etc.) para la cuantificación. Proporcionar suficiente información para que un auditor pueda reproducir el cálculo (*Tabla 19* y *Tabla 26*).

4. Eventos bióticos o abióticos acontecidos durante el periodo a reportar (por ejemplo, la climatología real) que generen incertidumbre sobre las estimaciones iniciales del SE (afección al crecimiento o la salud de los árboles, etc.).
5. Métodos detallados de análisis de la información. Justificación, procesamiento de datos, intervalos de confianza y errores de muestreo. Proporcionar suficiente información para que un auditor pueda reproducir el cálculo, adjuntando hojas de cálculo electrónicas como apéndice o en un archivo aparte, para facilitar la verificación de los resultados. Debe distinguirse en datos y/o variables determinados o disponibles durante la planificación y auditoría iniciales (que permanecen fijos durante el período de actividad) y aquellos monitoreados y/o evaluados durante la operación del proyecto.
6. Estado inicial y trayectoria temporal de los indicadores sensibles por reservorio y flujos.
7. Indicar número previsto y real de unidades en el momento de la evaluación (año 5, 10, etc.): Total de unidades obtenidas, unidades a reserva y unidades asignables al registro o créditos elegibles para emisión.
8. Resultados del seguimiento de riesgos y reversión del beneficio neto. Indicar si se mantiene el beneficio previsto según lo establecido en el Plan. En caso negativo, aclarar.
9. Resultados y evidencias de las actividades de seguimiento de los beneficios medioambientales en materia de biodiversidad, carbono, paisaje, salud del suelo, etc.
10. Apéndices

12. FASE IV. VERIFICACIÓN-CERTIFICACIÓN. PASO 8. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN Y AUDITORÍA

La integración entre la contabilidad de los SE y su certificación representa un paso decisivo hacia la consolidación de un modelo de gestión forestal basado en resultados, transparente y alineado con las políticas climáticas y ambientales europeas. La contabilidad proporciona el soporte metodológico necesario para identificar, cuantificar y seguir en el tiempo los servicios generados por los ecosistemas, garantizando la coherencia, trazabilidad y comparabilidad de la información. Sobre esta base, los sistemas de certificación, en particular los desarrollados en el marco del Reglamento (UE) 2024/3012, permiten traducir dichos resultados en unidades verificables, siempre que se cumplan criterios estrictos de adicionalidad, permanencia, cuantificación robusta y ausencia de doble contabilización. De este modo, la contabilidad de los servicios ecosistémicos deja de ser únicamente una herramienta técnica de análisis para convertirse en un instrumento operativo que habilita el acceso a mecanismos de financiación, incentivos y mercados asociados a la mitigación del cambio climático. En este contexto, la correcta articulación entre medición, seguimiento y certificación se configura como un elemento clave para valorizar la gestión forestal sostenible y reforzar el papel de los ecosistemas como infraestructuras naturales esenciales en la transición hacia una economía climáticamente neutra.

12.1. Elementos del proceso de certificación

Un proceso de certificación incorpora una serie de actores y elementos que interaccionan entre sí de forma acoplada (Fig. 14), por lo que se revisa esta estructura a continuación:

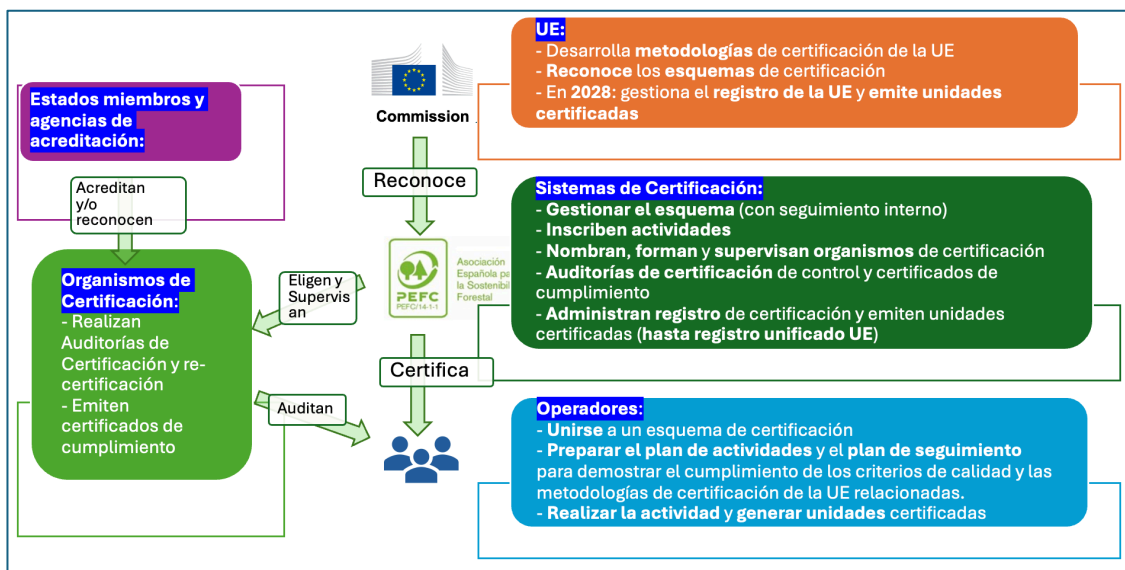


Fig. 14. Estructura del proceso de Certificación establecida en el Reglamento (UE) 2024/3012. (Fuente: modificado de Carbon Removals Expert Group. Consulta ago-2024). Se presentan los elementos y relaciones a considerar en la certificación de créditos asociados a SEs

Sistema de certificación y registro

El plan y los beneficios del SE calculados pueden presentarse a un **Sello o Sistema de certificación** que posee un **Registro** de certificación, donde se incorporarán las unidades certificadas del SE considerado. Estas unidades se emiten como **Créditos**, una vez que contabilizadas y verificadas se certifican y se convierten en créditos aprobados por el registro; estos créditos (unidades verificadas y registradas) se pueden comercializar o vender.

Los registros incorporan bases de datos que documentan y mantienen la trazabilidad de la génesis, propiedad, transacción, retirada de los créditos y establecen la responsabilidad del mercado.

Los esquemas de certificación del Sistema han de cumplir con unos requisitos de certificación armonizados a nivel europeo que garanticen transparencia y generen confianza, tales como:

- Gestión del sistema: un sistema de certificación debe funcionar con procedimientos fiables y transparentes, como, por ejemplo: gestión y seguimiento internos, gestión de reclamaciones y solicitudes, consulta a las partes interesadas, transparencia y publicación de información, etc.
- Verificación independiente del cumplimiento de los criterios que se establezcan para certificar el SE, que deben ser verificados por auditores externos;
- Difusión íntegra: toda la información sobre los SEs certificados debe estar a disposición del público y ser rastreable mediante registros públicos.

Validación y verificación por organismos independientes de certificación (auditores)

La validación y verificación deben hacerse por un tercero antes de su incorporación al registro: serán los **organismos independientes de certificación (auditores)** los que evalúen la documentación y los procesos del proyecto para garantizar que el cálculo de las cuentas físicas sea correcto y que el proyecto cumpla con los estándares del Sistema. Ello supone que el proyecto cumple los requisitos de elegibilidad, que el cálculo y medición son precisos y que las actividades planificadas mejoran los SEs, y por tanto se adhiere al sello. Estos organismos validadores o auditoras cumplen con principios y requisitos internacionales, como las normas ISO.

Cada sistema-registro mantiene una lista de organismos de validación y verificación aprobados en su sitio web. Típicamente, los proyectos registrados reciben auditorías de verificación sobre el terreno cada cinco años, lo que implica un re-inventario y una verificación periódica, según el protocolo del sistema seleccionado.

Mercados

Finalmente, los créditos del SE generados por proyectos forestales de gestión mejorada se negocian en mercados donde se pueden comprar, vender, comercializar y retirarlos (Putney et al., 2023). En estas transacciones intervienen empresas, municipios u otras entidades que buscan compensar su huella de emisiones de CO₂ y de agua, cumplir con sus objetivos sociales y medioambientales, etc.

Otra opción para que un propietario rentabilice sus créditos serían los pagos por resultados o pagos por servicios ambientales dentro de políticas europeas tipo PAC e iniciativas similares (créditos de la naturaleza COM(2025) 374 y Directiva (UE) 2022/2464 CSRD) o de ámbitos geográficos más regionales y/o locales. Estos programas basados en las buenas prácticas pueden generar incentivos financieros para los propietarios que adopten prácticas sostenibles con respecto al carbono, la biodiversidad u otros co-beneficios que mejoren la salud de los bosques.

12.2. Verificación y auditoría

El proyecto adherido al esquema de certificación será evaluado con arreglo a unos criterios, indicadores y verificadores establecidos. El estándar o norma de verificación describe los *criterios* que deben cumplirse para que el monte sea certificado con el sello. Estos criterios son los definidos en cada caso (SE). Los *indicadores* se utilizan para determinar si se cumplen los criterios y los *verificadores* son la evidencia que respalda los indicadores. Se sigue la definición del CIFOR (1999) sobre criterios, indicadores y verificadores en niveles jerárquicos, lo que proporciona un marco consistente y coherente para lograr, nivel por nivel, el objetivo de la silvicultura de mejora del carbono.

Los evaluadores independientes compararán los indicadores con los registros de gestión y estado del bosque buscando verificadores (evidencia) que cumplan con los criterios. Los *criterios basados en procesos* examinan actividades que cumplan con los procedimientos normativos, mientras que los *criterios basados en el rendimiento* evalúan lo que realmente se aplica sobre el terreno y lo comparan con la norma. A los bosques que no cumplan con los criterios se les puede dar tiempo para implementar cambios para que puedan ser certificados. Las certificaciones suelen ser de uno a cinco años, según las directrices del sistema de certificación y cronograma establecidos. Todos los sistemas requieren un plan de gestión forestal actualizado y escrito. Antes de comenzar el proceso de certificación, el propietario debe trabajar con un silvicultor consultor para la preparación de la auditoría, lo que lleva tiempo y requiere un método organizado para comparar el manejo del bosque, el mantenimiento de registros y otros aspectos de la propiedad con los requisitos del sistema.

La auditoría **ex-ante** del año 0 es la más intensa y exigente y audita tanto procesos (aspectos documentales) como rendimiento en monte (comprobación de la adicionalidad). Anualmente se pueden hacer auditorías de menor entidad y finalmente, en el año 5, se hace una auditoría **ex-post** de cierre con vistas a la renovación del certificado.

Los resultados de una auditoría deberán abordar el objetivo básico de si se están logrando los objetivos o resultados establecidos en el plan de gestión de la adicionalidad. Ello permitirá dictaminar si las estimaciones realizadas y/o la gestión forestal han sido eficaces para alcanzar los objetivos. Otros resultados derivados de este proceso son: si se cumplen los requisitos reglamentarios, si hay oportunidades para mejorar o corregir el funcionamiento o rendimiento

del sistema evaluado. La auditoría es, y debe ser vista, como una valiosa herramienta de gestión para identificar y documentar fácilmente las oportunidades de mejora y permitir que el desempeño se mejore continuamente. Las fases del proceso de auditoría incluyen, por orden: *La Planificación de la auditoría → La Realización del sistema de auditoría en el sitio de auditoría → El Informe de los hallazgos y evaluación de la efectividad del programa de auditoría → El Seguimiento de la auditoría*. Se detallan a continuación los aspectos clave a desarrollar en el seno de este proyecto.

Aspectos preliminares y Planificación de la auditoría

Se detallará en este punto lo concerniente a las características y diseño de cómo hacer una reunión inicial con los representantes de la organización auditada, desarrollar un plan de la auditoría, la revisión preliminar de documentación previa al comienzo del proceso y el desarrollo de la lista de verificación de la auditoría. Este último paso es clave pues es el germen de la verificación en sí, y ha de desarrollar las preguntas de verificación; por ejemplo, sin un verificador fuera "El caudal de escorrentía tras los aprovechamientos no muestra cambios significativos en comparación con el caudal en el sitio no alterado por cortas", la pregunta de auditoría en la lista de verificación podría ser: "¿Se ha medido el caudal en sitios de cortas y control tras los aprovechamientos según el cronograma de monitoreo?" "¿Hay evidencia documentada disponible para indicar el cumplimiento del cronograma de monitoreo y los caudales especificados?".

Realización de la auditoría

Se detallará en este punto lo concerniente a las características y diseño de cómo hacer la reunión de iniciación con el gestor forestal o representantes de la entidad auditada, la recopilación de las pruebas u observaciones de auditoría, el examen y evaluación de las mismas (es decir, de las evidencias de las actividades y condiciones del sitio para responder a las preguntas de verificación y objetivos de la auditoría), el juicio profesional que identifique conformidades, no conformidades, requisitos de mejora y observaciones, y la reunión de salida con que concluye esta fase previa a la preparación del informe de auditoría.

Presentación de informes del proceso de verificación y/o auditoría

Se detallará en este punto lo concerniente a las características y diseño de cómo el auditor debe informar de las conclusiones de la auditoría de conformidad con el plan de auditoría, proporcionando un registro completo, preciso, claro y conciso de la auditoría. Este informe incluye aspectos como los objetivos de la auditoría y su alcance, los detalles del plan/explotación/certificado auditado, la identificación del equipo de auditoría y participantes de la entidad auditada, fechas y lugares en que se llevaron a cabo las actividades, criterios de auditoría, hallazgos y evidencia relacionada, conclusiones de auditoría y resumen enumerando las no conformidades y los requisitos de mejora (si los hubiera). También habrá de hacerse referencia a las limitaciones encontradas durante la auditoría que puedan disminuir la fiabilidad de las conclusiones de la auditoría, una declaración sobre el grado de cumplimiento de los criterios de auditoría, detalles de cualquier diferencia de opinión no resuelta entre el equipo de auditoría y el auditado, etc.

Seguimiento de la auditoría

Se detallará en este punto lo concerniente a las características y diseño de cómo abordar la indicación de correcciones u oportunidades de mejora, cómo identificar las áreas de mejora, y en su caso, cómo verificar en una fecha posterior que las medidas acordadas se han aplicado y son eficaces.

13. CASOS PRÁCTICOS EN BOSQUES MEDITERRÁNEOS

13.1. Ejemplo cuentas en monte público con riesgo de incendio

Monte público mediterráneo.

Tipo: Pinar de *Pinus halepensis* con matorral denso

Superficie: 1.200 ha

Gestión activa preventiva de incendios

Plantilla oficial normalizada (Compatible con el enfoque de SEEA-EA)

A. Cuenta de extensión del ecosistema

Unidad de gestión	Tipo de ecosistema	Superficie (ha)	Año
Monte X	Pinar mediterráneo	1.200	2025

B. Cuenta de condición del ecosistema

Indicador	Unidad	Valor	Tendencia
Densidad arbolado	pies/ha	650	Estable
Cobertura matorral	%	35	↑
Carbono biomasa	tC/ha	72	↑
Riesgo incendio	Índice 1-5	4	Alto

C. Cuenta física de Servicios Ecosistémicos (Oferta anual, 2025)

Servicio	Indicador	Unidad	Resultado
Secuestro carbono	Incremento biomasa	tCO ₂ /año	2.850
Almacenamiento carbono	Stock biomasa	tCO ₂ totales	316.000
Control erosión	Suelo retenido	t suelo retenido/año	540
Producción madera	Volumen extraído	m ³ /año	780
Biomasa energética	Biomasa extraída	t/año	546
Recreación	Nº visitantes	visitas/año	12.000

D. Cuenta de uso (beneficiarios)

Servicio	Beneficiario	Tipo de beneficio
Regulación hídrica	Comunidad aguas abajo	Menor sedimentación
Recreación	Población local	Ocio y salud
Biomasa	Empresa energética	Materia prima

E. Cuenta monetaria orientativa (si procede)

Servicio	Método valoración	Valor anual (€)
Carbono (35 €/t)	Precio mercado ETS	99.750
Erosión (40 €/t suelo evitado)	Coste evitado	21.600
Recreación	Coste viaje	120.000
Producción madera		37.200

Valor total anual aproximado: 278.550 €

Interpretación para gestión

- La recreación es el principal valor económico.

- El carbono y la erosión justifican la gestión preventiva.
- La producción maderera no es el servicio dominante.

Esto permite justificar inversiones públicas en tratamientos selvícolas.

13.2. Ejemplo integrado: Proyecto de gestión forestal mejorada en pinar de *Pinus halepensis*

1. Datos generales del proyecto

- **Ubicación:** ámbito mediterráneo semiárido
- **Superficie:** 100 ha
- **Tipo de masa:** pinar regular de pino carrasco
- **Edad inicial:** 25 años
- **Objetivo:** incremento del flujo de carbono mediante gestión activa
- **Duración total del proyecto (periodo de actividad):** 30 años

2. Definición de escenarios

2.1. Escenario de línea base (sin gestión)

- No se realizan claras
- Alta densidad → competencia elevada
- Reducción progresiva del crecimiento
- Mayor riesgo de mortalidad e incendios

Flujo medio estimado: 3.5 t CO₂/ha/año

2.2. Escenario de gestión mejorada

Itinerario aplicado:

- Clara a los 30 años
- Clara a los 45 años
- Clara ligera a los 60 años

Efectos:

- Reducción de competencia
- Mayor crecimiento individual
- Menor mortalidad
- Mayor estabilidad

Flujo medio estimado: 5.5 t CO₂/ha/año

3. Periodos del proyecto

3.1. Periodo de actividad

- **Duración:** 30 años (edad 25 → 55)
- Incluye todas las actuaciones selvícolas

Es donde se genera la **adicionalidad**

3.2. Periodo de seguimiento

- **Frecuencia:** cada 5 años
- **Variables medidas:**
 - densidad (N)
 - área basal (G)
 - volumen (V)
 - biomasa/carbono

Permite verificar los cambios reales

3.3. Periodo de contabilidad

- **Intervalo:** anual (agregado en periodos de 5 años)
- **Unidad:** t CO₂/ha/año

Es donde se calculan los créditos

4. Cálculo de la adicionalidad de carbono

4.1. Diferencia de flujo

$$\text{Adicionalidad} = 5.5 - 3.5 = 2.0 \text{ t CO}_2/\text{ha/año}$$

4.2. Resultado total del proyecto

$$2.0 \times 100 \text{ ha} \times 30 \text{ años} = 6000 \text{ tCO}_2$$

Créditos potenciales: 6000 t CO₂

5. Evolución temporal simplificada

Año	Flujo base	Flujo mejorado	Diferencia
0-5	3.5	4.5	+1.0
5-10	3.4	5.2	+1.8
10-20	3.2	6.0	+2.8
20-30	3.0	5.8	+2.8

Se observa: mayor diferencia tras claras y máximo efecto en edades medias

14. REFERENCIAS

- Ameztegui, A., Coll, L., Cáceres, M.D., Morán-Ordóñez, A., 2024. Disturbance impacts on Mediterranean forests across climate and management scenarios. *J. Environ. Manage.* 371, 123193. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123193>
- Aslan, T., Launiainen, S., Kolari, P., Peltola, O., Aalto, J., Bäck, J., Vesala, T., Mammarella, I., 2024. Thinning turned boreal forest to a temporary carbon source - short term effects of partial harvest on carbon dioxide and water vapor fluxes. *Agric. For. Meteorol.* 353, 110061. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110061>
- Batjes, N.H., Ceschia, E., Heuvelink, G.B.M., Demenois, J., Le Maire, G., Cardinael, R., Arias-Navarro, C., Van Egmond, F., 2024. Towards a modular, multi-ecosystem monitoring, reporting and verification (MRV) framework for soil organic carbon stock change assessment. *Carbon Manag.* 15, 2410812. <https://doi.org/10.1080/17583004.2024.2410812>

- Catanzaro, P., D'Amato, A., 2019. Forest carbon: an essential natural solution for climate change. University of Massachusetts Amherst, UVM Extension, Northern Institute of Applied Climate Science, & NE CASC.
- Coenders-Gerrits, A.M.J., Hopp, L., Savenije, H.H.G., Pfister, L., 2012. The effect of spatial throughfall patterns on soil moisture patterns at the hillslope scale (preprint). Hillslope hydrology/Modelling approaches. <https://doi.org/10.5194/hessd-9-8625-2012>
- del Campo, A.D., González-Sanchis, M., García-Prats, A., Ceacero, C.J., Lull, C., 2019. The impact of adaptive forest management on water fluxes and growth dynamics in a water-limited low-biomass oak coppice. *Agric. For. Meteorol.* 264, 266–282. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.10.016>
- 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
- Del Campo, A.D., González-Sanchis, M., Molina, A.J., García-Prats, A., Ceacero, C.J., Bautista, I., 2019. Effectiveness of water-oriented thinning in two semiarid forests: The redistribution of increased net rainfall into soil water, drainage and runoff. *For. Ecol. Manag.* 438, 163–175. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.020>
- Del Campo, A.D., Otsuki, K., Serengil, Y., Blanco, J.A., Yousefpour, R., Wei, X., 2022. A global synthesis on the effects of thinning on hydrological processes: Implications for forest management. *For. Ecol. Manag.* 519, 120324. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120324>
- Del Campo García, A.D., González Sanchis, M.D.C., Pérez Romero, J., Molina Herrera, A.J., Blanco Cano, L., Sánchez Moreno, I., De La Fuente Martín, B., 2023. La selvicultura ecohidrológica como herramienta de gestión multifuncional y adaptativa: aplicación práctica en la Sierra Norte de Madrid. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 49, 53–76. <https://doi.org/10.31167/csecfv0i49.19940>
- Devitt, D.A., Smith, S.D., 2002. Root channel macropores enhance downward movement of water in a Mojave Desert ecosystem. *J. Arid Environ.* 50, 99–108. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0853>
- Diéguez-Aranda, U., Rojo-Alboreca, A., Castedo-Dorado, F., Álvarez González, J. G., Barrio-Anta, M., Crecente-Campo, F., González-González, J. M., Pérez-Cruzado, C., Rodríguez-Soalleiro, R., López-Sánchez, C.A., Balboa-Murias, M.A., Gorgoso-Varela, J. J., Sánchez-Rodríguez, F., 2009. Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. Dirección Xeral de Montes, Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia, Escuela Politécnica Superior Universidad de Santiago de Compostela.
- European Commission (Ed.), 2013. Mapping and assessment of ecosystems and their services: an analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020: discussion paper - final, April 2013. Publications Office, Luxembourg. <https://doi.org/10.2779/12398>
- European Commission. Joint Research Centre., 2020a. Mapping and assessment of ecosystems and their services: an EU wide ecosystem assessment in support of the EU biodiversity strategy : supplement (indicator fact sheets). Publications Office, LU. <https://doi.org/10.2760/519233>

- European Commission. Joint Research Centre., 2020b. Mapping and assessment of ecosystems and their services: an EU wide ecosystem assessment in support of the EU biodiversity strategy. Publications Office, LU. <https://doi.org/10.2760/757183>
- European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability., 2012. Indicators for mapping ecosystem services: a review. Publications Office, LU. <https://doi.org/10.2788/41823>
- Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., Dixon, K.W., 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. Restor. Ecol. 27. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- Goeking, S.A., Tarboton, D.G., 2020. Forests and Water Yield: A Synthesis of Disturbance Effects on Streamflow and Snowpack in Western Coniferous Forests. J. For. 118, 172–192. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvz069>
- Grima, N., Jutras-Perreault, M.-C., Gobakken, T., Ole Ørka, H., Vacik, H., 2023. Systematic review for a set of indicators supporting the Common International Classification of Ecosystem Services. Ecol. Indic. 147, 109978. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109978>
- Haines-Young, R., 2023. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.2 and Guidance on the Application of the Revised Structure.
- Haines-Young, R., Potschin-Young, M., 2018. Revision of the Common International Classification for Ecosystem Services (CICES V5.1): A Policy Brief. One Ecosyst. 3, e27108. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e27108>
- Haya, B.K., Evans, S., Brown, L., Bukoski, J., Butsic, V., Cabiyo, B., Jacobson, R., Kerr, A., Potts, M., Sanchez, D.L., 2023. Comprehensive review of carbon quantification by improved forest management offset protocols. Front. For. Glob. Change 6, 958879. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.958879>
- Hibbert, A.R., Davis, E.A., Knipe, O.D., 1982. Water Yield Changes Resulting From Treatment of Arizona Chaparral 8.
- Kaim, A., Cord, A.F., Volk, M., 2018. A review of multi-criteria optimization techniques for agricultural land use allocation. Environ. Model. Softw. 105, 79–93. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.03.031>
- Kasper, J., Weigel, R., Walentowski, H., Gröning, A., Petritan, A.M., Leuschner, C., 2021. Climate warming-induced replacement of mesic beech by thermophilic oak forests will reduce the carbon storage potential in aboveground biomass and soil. Ann. For. Sci. 78, 89. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01081-0>
- Keith, D.A., Ferrer-Paris, J.R., Nicholson, E., Bishop, M.J., Polidoro, B.A., Ramirez-Llodra, E., Tozer, M.G., Nel, J.L., Mac Nally, R., Gregr, E.J., Watermeyer, K.E., Essl, F., Faber-Langendoen, D., Franklin, J., Lehmann, C.E.R., Etter, A., Roux, D.J., Stark, J.S., Rowland, J.A., Brummitt, N.A., Fernandez-Arcaya, U.C., Suthers, I.M., Wiser, S.K., Donohue, I., Jackson, L.J., Pennington, R.T., Iliffe, T.M., Gerovasileiou, V., Giller, P., Robson, B.J., Pettorelli, N., Andrade, A., Lindgaard, A., Tahvanainen, T., Terauds, A., Chadwick, M.A., Murray, N.J., Moat, J., Pliscoff, P., Zager, I., Kingsford, R.T., 2022. A function-based typology for Earth's ecosystems. Nature 610, 513–518. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05318-4>

- Korosuo, A., Pilli, R., Abad Viñas, R., Blujdea, V.N.B., Colditz, R.R., Fiorese, G., Rossi, S., Vizzarri, M., Grassi, G., 2023. The role of forests in the EU climate policy: are we on the right track? *Carbon Balance Manag.* 18, 15. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00234-0>
- Kumar, P. (Ed.), 2010. *The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations*, Online-Ausg. ed. Earthscan, London Washington, D.C.
- La Notte, A., D'Amato, D., Mäkinen, H., Paracchini, M.L., Liqueste, C., Egoh, B., Geneletti, D., Crossman, N.D., 2017. Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecol. Indic.* 74, 392–402. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.030>
- Lin, H., Zhou, X., 2007. Evidence of subsurface preferential flow using soil hydrologic monitoring in the Shale Hills catchment. *Eur. J. Soil Sci.* 59, 34–49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00988.x>
- Llorens, P., Poch, R., Latron, J., Gallart, F., 1997. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale. *J. Hydrol.* 199, 331–345. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03334-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03334-3)
- Maes, J., Liqueste, C., Teller, A., Erhard, M., Paracchini, M.L., Barredo, J.I., Grizzetti, B., Cardoso, A., Somma, F., Petersen, J.-E., Meiner, A., Gelabert, E.R., Zal, N., Kristensen, P., Bastrup-Birk, A., Biala, K., Piroddi, C., Egoh, B., Degeorges, P., Fiorina, C., Santos-Martín, F., Naruševičius, V., Verboven, J., Pereira, H.M., Bengtsson, J., Gocheva, K., Marta-Pedroso, C., Snäll, T., Estreguil, C., San-Miguel-Ayán, J., Pérez-Soba, M., Grêt-Regamey, A., Lillebø, A.I., Malak, D.A., Condé, S., Moen, J., Czúcz, B., Drakou, E.G., Zulian, G., Lavalle, C., 2016. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosyst. Serv.* 17, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.10.023>
- Marchi, M., Castellanos-Acuña, D., Hamann, A., Wang, T., Ray, D., Menzel, A., 2020. ClimateEU, scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe. *Sci. Data* 7, 428. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00763-0>
- Mateos, B., Schnabel, S., 2001. Rainfall interception by Holm Oaks in Mediterranean open woodland. *Cuad. Investig. Geográfica* 27, 27. <https://doi.org/10.18172/cig.1111>
- McKinley, D.C., Ryan, M.G., Birdsey, R.A., Giardina, C.P., Harmon, M.E., Heath, L.S., Houghton, R.A., Jackson, R.B., Morrison, J.F., Murray, B.C., Pataki, D.E., Skog, K.E., 2011. A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United States. *Ecol. Appl.* 21, 1902–1924. <https://doi.org/10.1890/10-0697.1>
- Millennium Ecosystem Assessment (Ed.), 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*, The Millennium Ecosystem Assessment series. Island Press, Washington, DC.
- Muzyło, A., Llorens, P., Domingo, F., 2012. Rainfall partitioning in a deciduous forest plot in leafed and leafless periods. *Ecohydrology* 5, 759–767. <https://doi.org/10.1002/eco.266>
- Ontl, T.A., Janowiak, M.K., Swanston, C.W., Daley, J., Handler, S., Cornett, M., Hagenbuch, S., Handrick, C., McCarthy, L., Patch, N., 2020. Forest Management for Carbon Sequestration and Climate Adaptation. *J. For.* 118, 86–101. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvz062>
- Ortega-Barrueta, U., Sertutxa, U., Ametzaga-Arregi, I., Yuste, J.C., Esteban, R., De Larrinaga, L.R., Miguel-Oti, F.S., Peña, L., 2025. Effect of forest management on the ecosystem

- services supply and multifunctionality in the Urdaibai Biosphere Reserve. *Ecosyst. Serv.* 76, 101793. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101793>
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadić, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., Alewell, C., 2015a. Rainfall erosivity in Europe. *Sci. Total Environ.* 511, 801–814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., 2015b. A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. *Geosciences* 5, 117–126. <https://doi.org/10.3390/geosciences5020117>
- Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C., 2014. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Sci. Total Environ.* 479–480, 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.010>
- Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.* 1, 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan, J.T., Pypker, T.G., Dunkerley, D., 2015. Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. *Agric. For. Meteorol.* 201, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.10.006>
- 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. *J. Appl. Ecol.* 53, 120–129. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12511>
- Stewart, W.C., Sharma, B.D., 2015. Carbon calculator tracks the climate benefits of managed private forests. *Calif. Agric.* 69, 21–26. <https://doi.org/10.3733/ca.v069n01p21>
- Tejera-Gimeno, R., García-Rodríguez, J.L., 2006. Metodología para la ordenación de cuencas hidrográficas: un nuevo enfoque basado en criterios de sostenibilidad. *Hydraul. Eng. Mex.* XXI, 43–58.
- United Nations, 2025. System of Environmental-Economic Accounting: Ecosystem Accounting, Manuals & Guides. International Monetary Fund, Washington, D.C. <https://doi.org/10.5089/9789212591834.069>