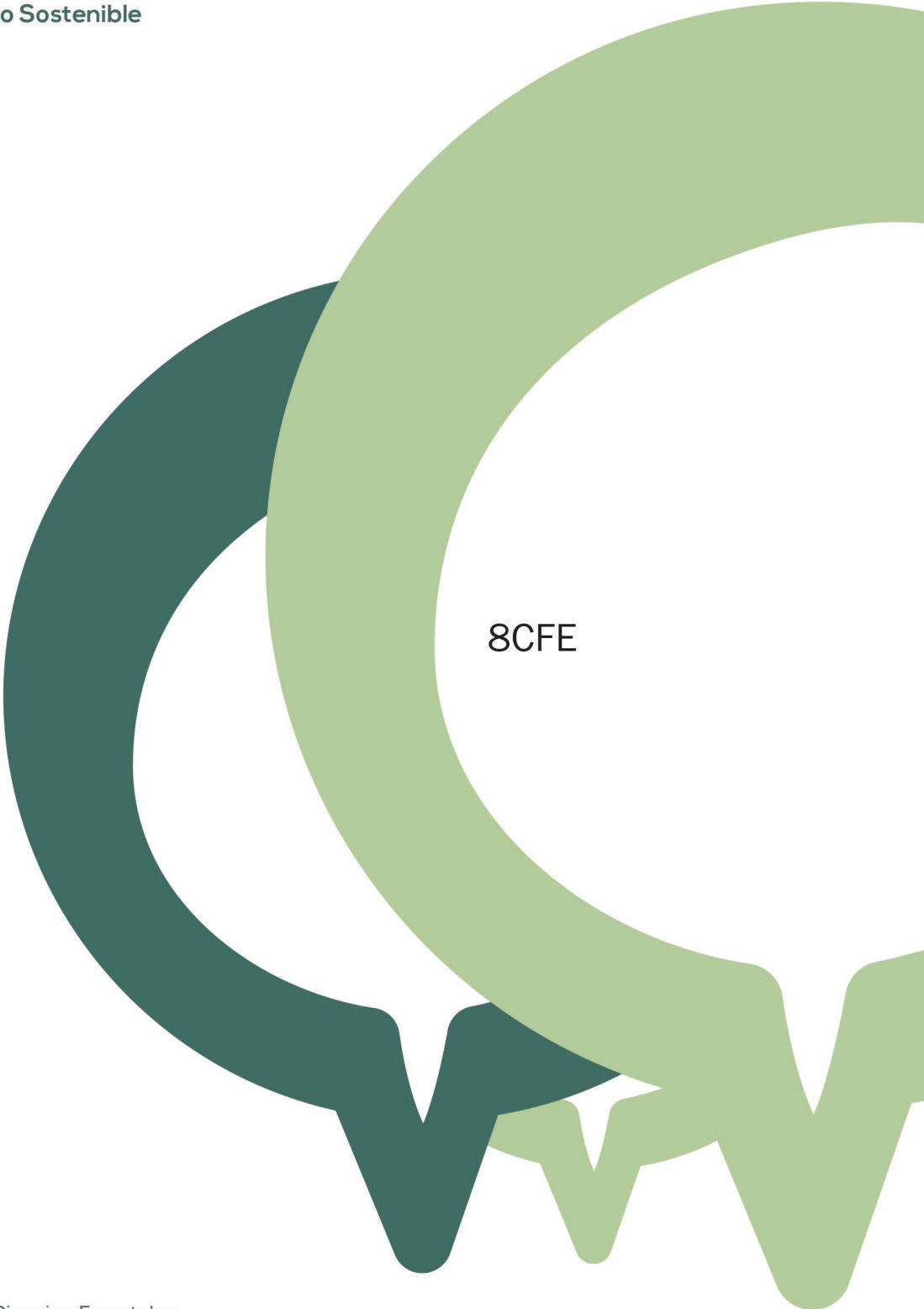




8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a  
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

**Cataluña | Catalunya - 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022**

**ISBN 978-84-941695-6-4**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

---

Organiza



## Desarrollo de un sistema piloto de logística y comercialización de productos forestales de los bosques mixtos submediterráneos subhúmedos

GUITART XARPELL, L.<sup>1</sup>, PAGÈS CASTELLÀ, J.<sup>2</sup> y SOLANES MASBERENGUER, X.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Associació de Propietaris Forestals del Montnegre i el Corredor.

<sup>2</sup> Forest4 SCCL.

<sup>3</sup> Agrupació Forestal del Montnegre i el Corredor, SL.

### Resumen

Los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos (BMMS) alojan una gran diversidad de especies y productos potenciales. Sin embargo, actualmente su rentabilidad económica es baja y la logística de la gestión forestal compleja. En este contexto, la creación de un sistema logístico que tenga en cuenta estas potencialidades y permita realizar una toma de decisiones ágil, puede contribuir en la mejora de la rentabilidad económica y la sostenibilidad ambiental de estos bosques. Este trabajo, desarrollado en el marco del proyecto LIFE MixForChange, analiza el proceso logístico de los tratamientos selvícolas innovadores aplicables en los BMMS del macizo del Montnegre-Corredor (Barcelona); identifica los condicionantes logísticos, económicos, temporales y ecológicos involucrados; y desarrolla una herramienta espacial piloto (GIS) para la toma de decisiones, cuya metodología de creación puede ser replicable a otros macizos. La información espacial generada por esta herramienta se centra en: tratamientos selvícolas potenciales; tipología y cuantificación de productos; sistemas de desembosque y transporte apropiados; necesidad de puntos de acopio; y destinos idóneos. Asimismo, analiza el balance económico de las actuaciones. De esta manera, la herramienta permite detectar rápidamente los recursos económicos y logísticos necesarios para el desarrollo de cada tratamiento selvícola, facilitando la logística y mejorando la eficiencia.

### Palabras clave

Toma de decisiones, diversificación de productos, herramienta GIS.

### 1. Introducción

Los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos (BMMS) son un ecosistema que, debido a las condiciones climáticas en las que se encuentran, permiten albergar una gran variedad de especies potenciales. No obstante, muchos de estos bosques actualmente presentan una situación de alta densidad, simplificación estructural y baja vitalidad que los hace muy vulnerables a las perturbaciones. Asimismo, su rentabilidad actual es baja, ya que la gestión forestal desarrollada las últimas décadas se ha centrado en la obtención de productos de bajo valor añadido, ligado a un mercado caracterizado por los bajos precios. De este modo, la realización de una gestión forestal sostenible a menudo exige una considerable inversión difícil de asumir.

El desarrollo de nuevas técnicas de gestión forestal que permitan un incremento de la complejidad de esas masas y al mismo tiempo una puesta en valor de los productos obtenidos, son decisivas en la mejora de la vitalidad y la adaptación al cambio climático de los BMMS. Al mismo tiempo, para garantizar la efectividad en su implantación, es necesaria una coordinación eficiente del proceso logístico, desde el inicio de las actuaciones forestales hasta la comercialización del producto, mejorando la sostenibilidad económica y ambiental.

No obstante, durante la realización de las actuaciones forestales se ven implicadas distintas fases y actores y conseguir una buena coordinación de todos ellos no es fácil. Actualmente, existen diversos trabajos orientados a la proporción de herramientas para la coordinación, como la realización de planes estratégicos para un producto concreto (CTFC et al., 2009), o valoración del

producto a escala regional (FERNÁNDEZ, 2021). Sin embargo, pocos contemplan las potencialidades de los BMMS en la escala local. De ahí la realización del presente trabajo, el cual, mediante el análisis del sistema logístico en un macizo concreto, pretende proporcionar una herramienta que facilite la coordinación de las actuaciones en BMMS a los gestores locales.

Este trabajo se enmarca en el proyecto LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060) (2016-2022) el cual pretende aumentar la capacidad de adaptación de los BMMS al cambio climático a través del desarrollo de nuevas técnicas de gestión forestal, así como el fomento de su bioeconomía. El proyecto se centra en cuatro zonas del noreste de la Península Ibérica donde se encuentran BMMS dominados por: encina (*Quercus ilex* subsp *ilex*), castaño (*Castanea sativa*), robles (*Quercus pubescens*, *Q. canariensis*, *Q. petraea*), y el pino (*Pinus sylvestris*, *P. pinea*). En una de estas cuatro zonas, el macizo del Montnegre-Corredor, es donde se focaliza el presente trabajo.

## 2. Objetivos

El principal objetivo del trabajo se centra en el desarrollo de un sistema piloto de logística para los productos madereros del ámbito de la Asociación de Propietarios Forestales del Montnegre y del Corredor (APMC) basado en la generación de una herramienta de sistemas de información geográfica (GIS) que englobe toda la información clave para la toma de decisiones. Asimismo, se pretenden alcanzar los objetivos específicos siguientes:

- i) Elaboración de una metodología replicable a otras asociaciones o macizos.
- ii) Análisis de los resultados alcanzados en el ámbito de la APMC.

## 3. Metodología

La metodología tiene un fuerte peso en este trabajo ya que en ella se describe la obtención de la herramienta GIS replicable. Los principales pasos a seguir son los siguientes, previo conocimiento del ámbito de estudio:

1. Análisis de las partes del sistema logístico en el ámbito de estudio.
2. Identificación de los condicionantes clave para cada parte y definición de valores umbral.
3. Transferencia de los condicionantes a nivel espacial y generación de la herramienta GIS.

### 3.1. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio se localiza en el macizo del Montnegre-Corredor, situado en el noreste de la Península Ibérica, en la cordillera litoral catalana (SRC: ETRS89 UTM 31N: 463824, 4610496). Su delimitación sigue el ámbito de actuación de la APMC la cual comprende los 22 municipios afectados por el macizo con una superficie total de 45.323 ha. En la zona se encuentra el Parque del Montnegre y el Corredor (Red Natura 2000 ES5110011, 14.711 ha).

El macizo del Montnegre-Corredor se encuentra en la región mediterránea piso mesomediterráneo subhúmedo. Se caracteriza por temperaturas suaves la mayor parte del año (media anual: 14°C), veranos muy cálidos (> 20 días con > 30°C) y riesgo de heladas en invierno (mínima mensual >-6°C). Las precipitaciones anuales se sitúan entorno los 550-700 mm con mucha variabilidad interanual (SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA, 2017).

A nivel geológico el ámbito de estudio está formado principalmente por rocas intrusivas del Paleozoico (granodioritas y leucogranitos) que tienden a formar suelos silíceos arenosos con baja capacidad de retención de agua y una alta susceptibilidad a la erosión. El rango altitudinal va desde el nivel del mar a los 758 m de altitud donde se sitúa la cordillera central que divide el macizo en dos vertientes, una interior orientada al noroeste y otra costera orientada al sureste. Las pendientes son altas en todo el macizo (>30%) llegando a superar el 60% en las zonas montañosas centrales.

La superficie forestal es abundante (71%) y mayoritariamente arbolada (88%) con la encina (*Quercus ilex* subsp *ilex*), el alcornoque (*Quercus suber*) y el pino piñonero (*Pinus pinea*) como especies dominantes. Asimismo, en la parte central más elevada y húmeda se extiende el robledal (*Quercus canariensis* y *Quercus petraea*) y castaños (*Castanea sativa*); y en las llanuras aluviales se encuentran plantaciones de chopo (*Populus nigra*) y plátano de sombra (*Platanus x hybrida*). Otras especies presentes son el pino pinastre (*Pinus pinaster*) y el pino radiata (*Pinus radiata*), este último en forma de pequeñas plantaciones. En general, se considera que la mayoría de bosques del macizo son mixtos, con excepción de las plantaciones.

Las dos vertientes principales del macizo, de propiedad eminentemente privada (82,5%), presentan realidades diferenciadas. Mientras que la vertiente interior, más húmeda, dominada por encinares y alcornocales, y propiedades más grandes (25-50 ha) se caracteriza por una mayor tradición y gestión forestal; la vertiente costera, de temperaturas más suaves, se compone de zonas con antiguo legado agrícola ahora ocupadas por pinares de pino piñonero mayoritariamente no gestionados, con propiedades muy fragmentadas (1-5 ha) y próximas a zonas altamente urbanizadas. Las problemáticas de la vertiente costera sumadas a la baja rentabilidad de las actuaciones forestales llevan a una falta de gestión forestal que incrementa la vulnerabilidad de las masas a perturbaciones. Así, además del riesgo de perturbaciones como incendios o sequías, el macizo se enfrenta a un incremento de afectaciones bióticas como el escolítido *Tomicus destruens* en pino piñonero o la cochinilla del pino pinastre (*Matsococcus feytaudii*) que sumados a otros agentes bióticos y abióticos causaron el decaimiento de los pinares con mortalidades en más de 2000 ha entre 2015 y 2017.

### 3.2. Análisis de las partes del sistema logístico

El primer paso en el desarrollo del sistema logístico piloto es el análisis de sus partes teniendo en cuenta las particularidades del ámbito de estudio. Con el objetivo de simplificar el sistema piloto, el trabajo se centra en los productos madereros y analiza los componentes habituales o de aplicación a corto plazo de cada parte.

El primer aspecto a analizar son los **tratamientos selvícolas**. Según la experiencia de la APMC, los tratamientos selvícolas habitualmente desarrollados son: entresacas; cortas sanitarias derivadas del decaimiento en pinares; claras selectivas; y en menor medida, resalveos (como tratamiento no complementario) y cortas a hecho (concentradas en las plantaciones). Asimismo, el abundante matorral hace indispensable la realización de desbroces selectivos en paralelo a la aplicación de tratamientos arbóreos. Estos tratamientos, se suelen realizar de manera manual, debido a las fuertes pendientes y el abundante matorral de la zona que hacen inviable la mecanización.

En segundo lugar, se analizan los **productos** habitualmente extraídos, con posibilidades de comercialización actual o a corto plazo. Estos productos son: leñas de quercíneas; trituración para la realización de papel o para fines energéticos (distinguiendo entre biomasa de calidad y biomasa industrial (últimos metros del árbol con copa)); sierra de conífera para palet; y sierra de calidad, agrupando la madera destinada a distintos usos de mayor calidad (ej. carpintería, ebanistería). De éstos, las leñas de encina y la biomasa industrial derivada de las cortas sanitarias son los que se extraen con una mayor abundancia; mientras que la madera de calidad, por su poca presencia; y la trituración para papel, debido a la priorización de la biomasa; son los productos menos abundantes.

Otro aspecto a considerar, son los métodos de desembosque y transporte. Por un lado, el **método de desembosque** habitualmente utilizado por la APMC es el tractor forestal con cabrestante, debido a su alta versatilidad y bajo coste, realizando la extracción a pie de pista. No obstante, en los casos de cortas sanitarias intensas con extracción de biomasa industrial se utiliza el autocargador, por su posibilidad de acceso en la zona de corta (APMC, 2015). Por otro lado, el **método de**

transporte más utilizado es el camión 3 ejes, seguido del tractor con remolque y el autocargador para transporte a distancias cortas. El tráiler se utiliza puntualmente.

Aunque habitualmente el acopio de producto se realiza en pequeñas pilas a pie de pista, a menudo es necesario un acopio de mayores cantidades en lugares destinados a esa función. Para ello la APMC hace uso de tres tipos de **puntos de acopio**: a) cargaderos "in situ", ubicados temporalmente en la zona de actuación y habitualmente utilizados para el almacenamiento de biomasa industrial, facilitando el astillado "in situ"; b) dos plataformas logísticas temporales (1,32 y 0,93 ha) que permiten el uso de tráiler; y c) una plataforma logística permanente de 1,64 ha donde se almacena prolongadamente productos de distintas actuaciones con el objetivo de incrementar su volumen, realizar un primer procesado, facilitar el acceso al transporte o esperar futuras oportunidades de comercialización.

Finalmente, para cerrar el ciclo, se definen los **destinos** de los productos, generalmente industrias, aunque se incluyen las plataformas logísticas. Así, en el ámbito de la APMC se distinguen 15 industrias distribuidas en: 8 de leñas; 3 de trituración; 3 de sierra para palet y 2 de sierra de calidad. Se incluyen también como destino las plataformas temporales, donde se almacena principalmente trituración, y la plataforma permanente donde se almacenan leñas, trituración y sierra de calidad.

### 3.3. Identificación de condicionantes clave y valores limitantes

Las decisiones a tomar en las partes expuestas en el apartado anterior se ven afectadas por cuatro tipos de condicionantes: a) logísticos: qué elementos considerar y cómo se utilizarán; b) económicos: los costes o beneficios; c) temporales: cuando realizar cada parte y d) ecológicos: que limitan o modifican aspectos de la logística. A continuación, se desglosan las cuestiones implicadas en la toma de decisiones, se identifican los condicionantes principales (representables a nivel espacial) y se establecen valores umbral determinados, en todos los casos, a partir de la experiencia de la APMC.

#### 3.3.1. Condicionantes logísticos

A nivel logístico, la primera cuestión a hacer frente es la **elección del tratamiento selvícola**. Aunque éstos se definen en la planificación forestal vigente para algunas fincas, el presente trabajo pretende obtener una distribución global para todo el ámbito de estudio. Para ello se ha tomado como referencia las directrices del proyecto LIFE MixForChange (CTFC et al., 2018) y los modelos selvícolas utilizados por la APMC (GUITART & ROSELL, 2014), seleccionando los siguientes condicionantes: especie dominante; estado de la masa a partir de área basimétrica (AB, m<sup>2</sup>/ha) y diámetro medio (Dm, cm); y la afectación por perturbaciones, en ese caso el decaimiento en los pinares; estableciendo los valores limitantes descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de condicionantes para la elección del tratamiento selvícola a aplicar.

Tratamientos selvícolas	Formación forestal (especie dominante)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Dm (cm)	Decaimiento
Clara selectiva	castaño, coníferas	>25	--	
Cortas a hecho	plantaciones	--	>35	
Corta sanitaria	pino piñonero, pino pinastre	--	--	Muy afectado
Entresaca	encina, roble, alcornoque, madroño, otros caducífolios	>25	--	
Resalveo	encina, castaño, roble, alcornoque, madroño, eucalipto, otros caducífolios	10-25	<15	
Desbroce selectivo	Al mismo tiempo que las actuaciones sobre arbolado			

Otra cuestión en referencia a los tratamientos selvícolas es la **elección el método de ejecución**. Para ello se debe tener en cuenta: pendientes, características del estrato arbustivo, peso de la corta y productos extraídos. No obstante, en la zona de estudio actualmente sólo es viable la ejecución manual, de manera que no se establecen valores umbral para esta cuestión. Sí debería tenerse en cuenta, en la replicación en otros ámbitos.

Paralelamente al tratamiento, se debe tomar las decisiones sobre la tipología y la cantidad de producto a extraer. La **tipología de productos extraídos**, a nivel de aspectos logísticos, se agrupa de la siguiente manera: trituración (papel y biomasa de calidad), astilla (biomasa industrial), leñas (madroño, roble, encina y alcornoque), sierra para palet (pino carrasco, piñonero, pinastre y radiata) y sierra de calidad (coníferas-chopo-plátano y frondosas). Para su selección, los condicionantes principales implicados son la formación forestal y los tratamientos selvícolas. Así, considerando todos los bosques como mixtos, se establece un porcentaje de tipología de producto a extraer según formación y tratamiento, a partir de la experiencia de la APMC.

La **cuantificación de producto extraído** se realiza a partir umbrales de AB definidos a partir de CTFC et al., 2018, GUITART & ROSELL, 2014 y la experiencia de la APMC (Tabla 2). Con ello, se obtiene un valor de AB extraída la cual se extrapola a volumen con corteza (VCC, m<sup>3</sup>/ha) a través de la regresión polinómica siguiente:  $VCC = 2,874 * AB^{1,1365}$  ( $R^2$  ajustado: 0,7038), realizada a partir de los valores de las variables biofísicas (CREAF, 2015) en el ámbito de la APMC. Seguidamente, aplicando los porcentajes de tipología de productos anteriores se obtiene el volumen de producto por tipología. Finalmente, conociendo que la mayor parte de productos (excepto la sierra de calidad) se comercializan por peso (€/tn) se aplica la densidad de cada especie en verde para la obtención de la cantidad de producto extraído total y para cada tipología en tn/ha.

Tabla 2. Área basimétrica mínima a mantener y porcentaje de área basimétrica a extraer según el tipo de tratamiento selvícola a aplicar.

Tratamientos selvícolas	AB mín. (m <sup>2</sup> /ha)	AB a extraer (%)
Clara selectiva	20	30
Cortas a hecho	--	90
Corta sanitaria	--	50
Entresaca	20	25
Resalveo	--	30

La siguiente cuestión a tener en cuenta es la **elección del método de desembosque**. La accesibilidad es el primer factor a tener en cuenta ya que limita el tipo de desembosque y la posibilidad de ejecución de los tratamientos (RODRÍGUEZ, et al., 2005). A su vez, esta se encuentra condicionada por la distancia de desembosque des de los caminos existentes y la capacidad de movimiento dentro de la zona de actuación según la pendiente (Tabla 3). Con este criterio se establecen los métodos de desembosque posibles, además de zonas consideradas no accesibles, en las que, en caso de necesidad de actuación, será necesario realizar caminos de nueva construcción. Paralelamente, en las zonas de tratamientos intensos (ej, cortas sanitarias i a hecho), con extracción de biomasa industrial y acopio en cargaderos in situ, es preferible la utilización de autocargador, siendo el tractor con cabrestante el desembosque más idóneo para el resto de situaciones.

Tabla 3. Tipo de desembosque según la accesibilidad.

Pendiente zona a actuar (%)	Distancia caminos existentes (m)	Desembosque
>80	--	No accesible
0-80	<50	Tractor/Autocargador
35-80	>50	No accesible
20-35	>50	Autocargador
<20	>50	Tractor (arrastraderos)/Autocargador

Relacionado con la elección anterior, se determina la **elección del método de transporte**, condicionado principalmente por: la accesibilidad, la cantidad-tipo de producto, y la localización de destino. Así, para aquellos destinos localizados a más de 50 km de la actuación y una cantidad de producto muy alta, es preferible el uso de tráiler, siempre que la zona de actuación sea accesible. Si no es accesible, se requiere el uso de un transporte intermedio hasta una plataforma temporal. En una situación contraria de destinos cercanos (<5-10km) el transporte idóneo es el tractor con remolque, especialmente si la cantidad de producto es baja. El autocargador será preferible si, en destinos aún más cercanos (<2 km), se ha utilizado como método de desembosque. Para el resto de las situaciones el mejor método de transporte es el camión 3 ejes, por su adaptabilidad a accesos y versatilidad.

En referencia a los puntos de acopio, es necesario tomar dos tipos de decisiones: la necesidad de su establecimiento y su ubicación. Por un lado, la **necesidad de puntos de acopio** se determina a partir de: la cantidad y tipo de producto, la accesibilidad, la distancia a la industria de destino, y la necesidad de almacenaje y procesado de productos. Así, en las zonas de producción de biomasa industrial donde se requiere un astillado “in situ”, es precisa la ubicación de cargaderos “in situ” (CPF, 2016). Si la accesibilidad de la zona no lo permite y la industria se encuentra a más de 35km es necesario el acopio en una plataforma temporal. Finalmente, en caso de necesidad de acopio de mayores volúmenes, productos con salidas comerciales complicadas, realización de un primer procesado, o industrias alejadas, es aconsejable el uso de una plataforma permanente. La **selección de la ubicación** viene determinada por los condicionantes de la Tabla 4. La evaluación espacial en el ámbito de estudio se realiza sólo para las plataformas logísticas ya que la ubicación de cargaderos “in situ” depende de la extensión de cada zona particular de actuación.

Tabla 4. Características a tener en cuenta en la ubicación de los puntos de acopio.

Características	Cargadero “in situ”	Plataforma temporal	Plataforma permanente
Superficie (m <sup>2</sup> )	<800	800-5.000	>5.000
Accesibilidad	Camión 3 ejes	Camión 3 ejes/Tráiler	Camión 3 ejes/Tráiler
	Vía principal	Carretera	Carretera
Ubicación (distancia a destino)	En la actuación	< 5-10km de la actuación >35 km de industrias existentes	>35 km de industrias existentes
Terreno	Pendiente < 15% Drenaje		

Finalmente, la última cuestión logística es la **elección del destino**. En el presente trabajo, su elección viene determinada principalmente por condicionantes económicos comentados posteriormente. Sin embargo, a la práctica también se debe tener en cuenta condicionantes como la cantidad o calidad del producto, ya que las industrias pueden establecer un volumen de entrada mínimo, anual o máximo y requerimientos estrictos de calidad. No obstante, la difícil generalización y transferencia a nivel espacial de estos condicionantes hace que no se tengan en cuenta en el presente trabajo.

### 3.3.2. Condicionantes económicos

El presente trabajo contempla los condicionantes económicos derivados del coste de los tratamientos (incluido el desembosque), coste del transporte e ingreso de los productos, realizando previsiones de balance final.

En primer lugar, la cuantificación de **los costes de los tratamientos selvícolas**, se realiza a partir de dos tipos de coste: coste según superficie (€/ha), en el resalteo y desbroce selectivo (DARP, 2020), donde el volumen de producto comercializable es bajo y los rendimientos encuentran afectados por la superficie; y coste según cantidad de producto (€/tn), en el resto de tratamientos, en el que la cantidad de producto extraído tiene un fuerte peso en los rendimientos. Por un lado, los **costes según superficie** dependen de condicionantes distintos según el tratamiento. Así, los costes de resalteo se ven incrementados según la densidad de la masa (<2000, 2000-6000 y >6000 pies/ha) determinando 3 valores de coste. En el caso del desbroce selectivo, los rendimientos empeoran con la cobertura y la altura del estrato arbustivo, y con la pendiente. En la determinación de valores umbrales, las características del estrato arbustivo se aproximan a los datos de los modelos de combustible de superficie de SCOTT & BURGAN, 2005 ajustados a Cataluña (GONALEZ-OLABARRIA et al., 2019) reclasificados como combustible bajo, moderado y alto; y se establece un valor umbral de pendiente del 50%; que combinados determinan 6 costes de desbroce. Por otro lado, los **costes según producto**, además de la cantidad de producto (tn/ha), se ven afectados por la tipología y las características de las especies a extraer estableciendo tres costes (€/tn): a) castaño, coníferas y roble; b) resto de frondosas; c) biomasa industrial ya astillada. Así, el coste final de los tratamientos consta de la suma del coste desbroce selectivo con el resalteo, o bien con el coste de cada uno de los tratamientos condicionados por el producto (previa multiplicación del precio unitario por la cantidad de producto) obteniendo el coste final de cada tratamiento en €/ha.

En segundo lugar, se cuantifican los **costes de transporte** a partir de los rendimientos (€/hora) ya que el tiempo de transporte es, a la vez, el condicionante determinante para la **elección del destino** (más cercano, que minimice costes). Con el objetivo de simplificar el sistema piloto, los valores se determinan para camión 3 ejes, método utilizado en la mayoría de casos. Para ello, primeramente, se han desglosado los rendimientos según los pasos realizados por el transporte, repetidos tantas veces como viajes necesarios para la extracción de la totalidad del producto: trayecto hasta la actuación, carga, trayecto hasta destino y descarga.

Por un lado, el tiempo de trayecto hasta la actuación depende de la distancia entre la ubicación de la empresa de transporte y la zona de actuación; por el otro, el tiempo de carga y descarga depende del tipo de producto, del número de pilas y de la distancia en que se encuentran.

Sin embargo, estos dos rendimientos, se asumen como fijos ya que habitualmente las variaciones suelen ser como máximo de media hora, estableciendo un tiempo total de 2,5h/viaje. Así, los costes variables dependen del número de viajes y de la distancia de la actuación al destino. Por una parte, el número de viajes se encuentra condicionado por el volumen total de producto a extraer (tn/ha) y la cantidad máxima transportable en cada viaje, variable según la tipología de producto (15, 12, 18 y 10 tn/viaje para trituración-astilla, leñas, sierra para palet y sierra de calidad respectivamente). Por otra parte, el tiempo de trayecto de la actuación al destino depende de la distancia y de la velocidad del camión según el tipo de vía. Así, realizando un cálculo coste-distancia para cada uno de los 18 destinos utilizados por la APMC y extrapolando a todo el ámbito de estudio se obtienen las distancias y tiempos a cada uno de los destinos, pudiéndose elegir, para cada tipo de producto, el destino/s en que el tiempo de trayecto es mínimo. Con estos valores se puede calcular el coste de transporte total para cada tipo de producto de la siguiente forma: (tiempo mínimo de trayecto a destino \* coste horario \* 2 (ida y vuelta) + 2,5 \*coste horario) \* número de viajes. Sumando los costes de transporte de cada tipo de producto se obtiene el coste de transporte total en €/ha.

En tercer lugar, se cuantifican los ingresos derivados de la venta del producto. El **precio del producto** viene determinado en las tablas de precios de referencia como los de la Llotja de Vic o de Girona (CFC, 2020). Aunque, a la práctica, existen diferencias de precio según destino, la variabilidad del mercado y la necesidad de simplificación del sistema piloto, han motivado a considerar un precio medio común para todos los destinos y variable según la tipología de producto. Multiplicando el precio del producto con la cantidad de cada uno de ellos y sumando la totalidad de productos extraídos en una determinada zona se obtienen los ingresos totales (€/ha).

El balance orientativo se obtiene de la resta de los ingresos menos los costes de tratamientos y transporte, sin tener en cuenta otros costes auxiliares como el mantenimiento de las vías o el seguimiento técnico.

### 3.3.3. Condicionantes temporales y ecológicos

En la Tabla 5 se muestran los principales condicionantes temporales que limitan la ejecución de actuaciones forestales. Asimismo, en cuanto a condicionantes ecológicos, los criterios particulares de cada zona en concreto se establecen por el organismo competente en el momento de la actuación, siendo difíciles de generalizar para todo el ámbito de estudio. Por lo tanto, los condicionantes temporales y ecológicos se tienen en cuenta de manera auxiliar en el momento de realización de la actuación sin incorporarse a la herramienta GIS.

Tabla 5. Calendario de condicionantes de temporalidad. En gris se muestran los meses en los cuales existen limitaciones en la realización de las actuaciones forestales debido a cada condicionante.

Condicionante	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Conservación de fauna</b>												
Reproducción de rapaces												
<b>Climatología</b>												
Accesibilidad por lluvias												
<b>Daños abióticos</b>												
Riesgo de incendios												
<b>Daños bióticos</b>												
<i>Tomicus destruens</i>	Corta											
	Apilado											
<i>Matsoccocus feytaudi</i>	Corta											
	Apilado											
<b>Aprovechamientos forestales: madera</b>												

### 3.4. Transferencia de los condicionantes a nivel espacial y generación de la herramienta GIS

Los condicionantes logísticos y económicos anteriores son la base de elaboración de la herramienta GIS. Para ello, se elabora una malla que recoge toda la información, pudiendo tomar como referencia la resolución de una de las capas de información (en el presente trabajo, se toma la resolución de 20m de la capa de variables biofísicas (CREAF, 2015)). Seguidamente, se extrae a la malla la información de las capas espaciales de base, y se filtra según los valores umbral de cada condicionante. A medida que se lleva a cabo el proceso se va incorporando la información resultante a la malla base, de manera que cada campo presenta información relevante para la toma de decisiones. Una vez finalizado el proceso y completada la malla, se obtiene la herramienta GIS. La información de cada una de las celdas se define en unidades/ha.

La información espacial de base se centra en: formaciones forestales a partir del mapa de cubiertas del suelo de Catalunya (CREAF, 2009); variables dasométricas a partir del mapa de variables biofísicas de arbolado de Catalunya (CREAF, 2015); mapa de decaimiento 2015-2017

(ICGC, 2017); pendiente a partir del modelo digital de elevaciones de 5m (ICGC, 2016); combustibilidad a partir del mapa de combustible de superficie adaptados a Catalunya, (GONALEZ-OLABARRIA et al., 2019); y accesos a partir de la red viaria del mapa topográfico de Catalunya a escala 1:25.000 y 1:5.000 (ICGC, 2011).

#### 4. Resultados

La herramienta GIS obtenida es una capa vectorial formada por diversos campos que aportan información clave a nivel logístico para el ámbito de la APMC en celdas de 20m de resolución. Los campos que la componen aportan datos de los condicionantes y los resultados del proceso de toma de decisiones.

La Figura 1a muestra que un 47% de la superficie forestal arbolada del ámbito de la APMC, se encuentra en un estado donde es posible y/o necesario el desarrollo de tratamientos selvícolas. A nivel de tratamientos, la entresaca es el tratamiento más aplicable (65%); seguida de la clara selectiva (15%); y cortas sanitarias derivadas del decaimiento del pino piñonero y pinastre, concentradas en la vertiente costera (11%). Por el contrario, las cortas a hecho (1%) y los resalveos (6%) presentan una menor superficie potencial.

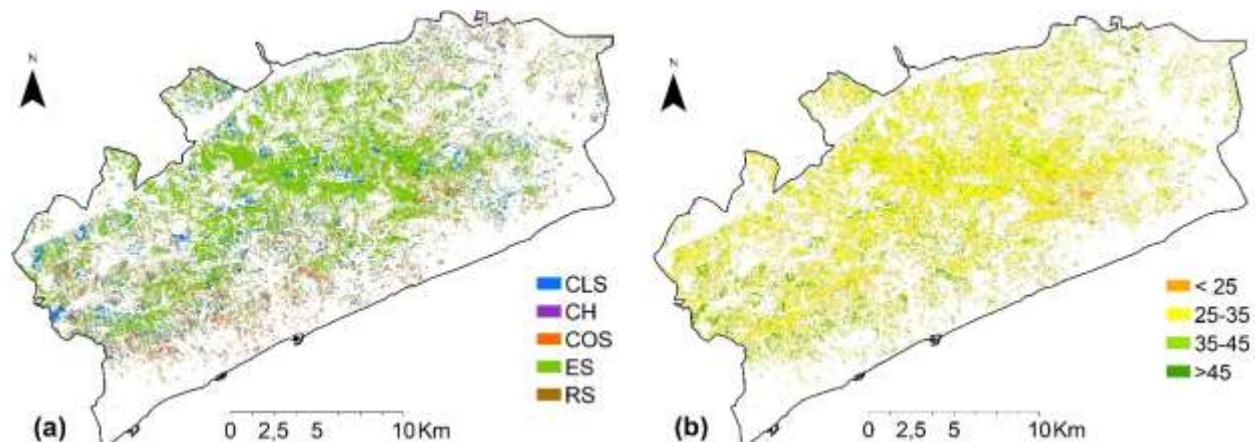


Figura 1. a) Tratamientos selvícolas potenciales dónde CLS: clara selectiva, CH: corta a hecho, COS: corta sanitaria, ES: entresaca, RS: resalveo y b) cantidad total de producto extraíble (tn/ha).

Respecto a la cantidad de producto extraíble (Figura 1b), los valores mayoritarios se encuentran entre 25-35 tn/ha (54%). Las cantidades más altas (20%) se localizan en las zonas de cortas sanitarias o cortas a hecho; los valores más bajos, por el contrario, en zonas de resalveo o entresacas suaves. Según la tipología de producto, los productos con mayor presencia son: la leña de encina (97%), de madroño (83%), la sierra para palet de pino piñonero (81%) y la trituración (79%). Por el contrario, los productos de presencia más escasa son: la sierra para palet del resto de pinos y la sierra de calidad. Las cantidades extraídas de cada tipo de producto son variables según la presencia de cada especie y sus características. La astilla es el producto en el que se extraen cantidades más altas (>20 tn/ha), provenientes mayoritariamente de cortas sanitarias. También son altas las cantidades extraídas de sierra para palet de pino radiata (20-30 tn/ha) aunque representan una escasa superficie. Las leñas de encina se reparten por todo el macizo con una extracción media de 10-20 tn/ha, mientras que el roble se concentra en la parte central. Finalmente, la sierra de calidad es el producto que presenta menores extracciones (<5 tn/ha).

A nivel de accesibilidad, tan solo un 17% de las zonas con tratamientos selvícolas potenciales se encuentran inaccesibles, concentradas en la parte central del macizo y en la vertiente costera. En las zonas consideradas accesibles, el método de desembosque más idóneo es el tractor con

cabrestante siendo en tan solo un 13% de las zonas de tratamientos potenciales preferible el uso de autocargador, concentradas en las zonas de cortas sanitarias o a hecho. El autocargador se puede utilizar mismamente como medio de transporte en aquellas zonas situadas a menos de 2km del destino del producto (7%). En aquellas zonas situadas a menos de 5-10 km del destino donde no se ha usado previamente autocargador se propone el uso de tractor con remolque (30%). El camión 3 ejes es preferible para el resto de zonas.

Una vez evaluadas las plataformas logísticas en el ámbito de la APMC se concluye que son suficientes para el acopio de los productos extraídos. Aunque para la sierra para palet, existe una zona alejada donde los costes se incrementan, su localización en las partes más inaccesibles del ámbito de estudio hace difícil y viable el establecimiento de una nueva plataforma.

En la elección de destinos (Figura 2), las industrias alejadas no se consideran como opción siempre y cuando exista un destino más cercano. Por esta razón, tres de las industrias evaluadas no han sido consideradas como destinos prioritarios. A nivel de tipología de productos, la trituración y las leñas de encina y roble son los productos con mayor variedad de destinos. Por el contrario, la baja rentabilidad y demanda de las leñas de alcornoque; la baja cantidad de sierra de calidad; y la preferencia de establecimiento de las industrias de palet en zonas con mayor presencia de coníferas; son los motivos de la baja presencia de industrias para este tipo de productos. Finalmente, es necesario destacar la importancia de las plataformas temporales para el almacenamiento de trituración y astilla, debido a la poca presencia de industrias en su ubicación, así como la plataforma permanente ubicada en un punto clave como destino de astilla, leñas de alcornoque y madera de calidad.

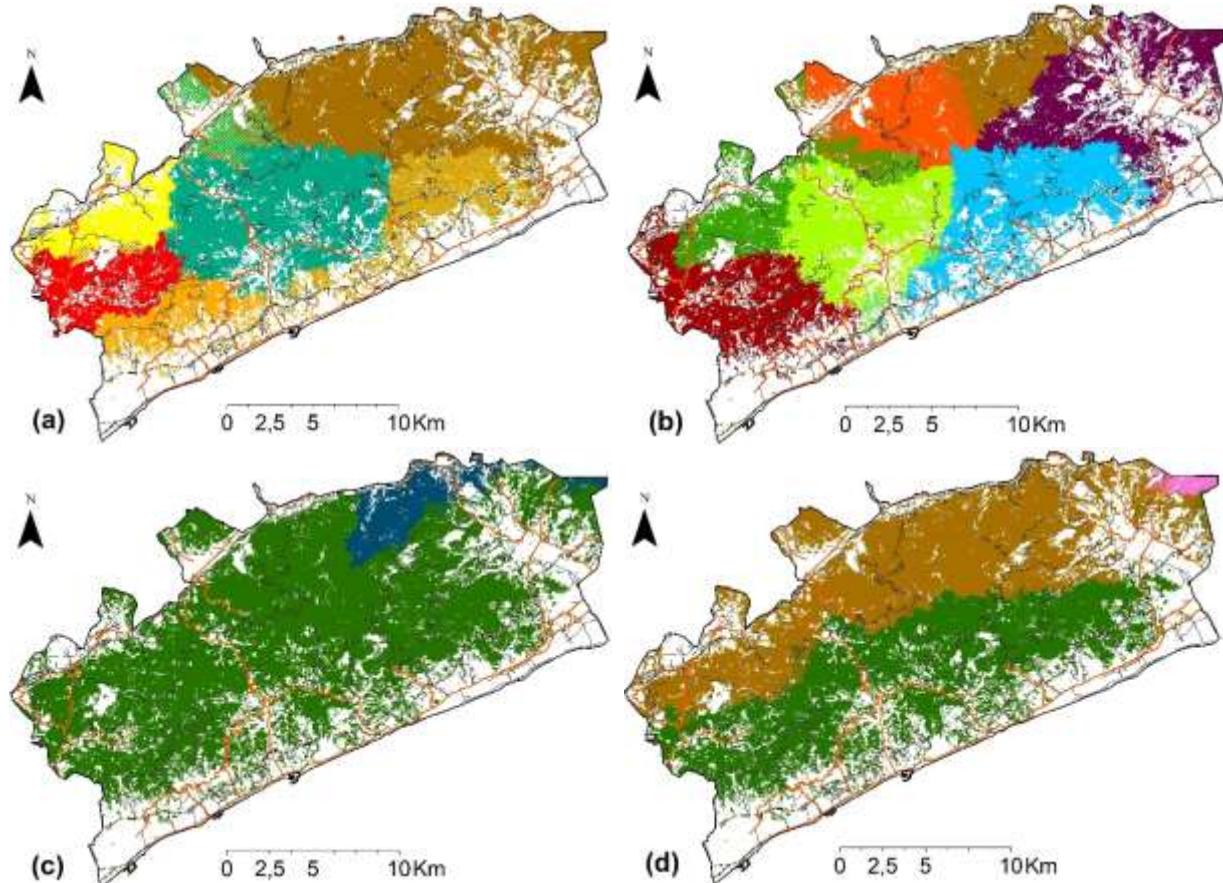


Figura 2. Destinos que minimizan los costes de transporte para a) trituración, b) leñas de encina, c) sierra para palet y d) sierra de calidad (cada color representa una industria).

A nivel de costes, la mayoría de las zonas (66%) presentan unos costes de tratamientos de entre 1500-2000€/ha (Figura 3a). Los costes superiores a 2500€/ha son los derivados de las cortas sanitarias, donde el volumen de producto extraído es alto. El coste desbroce selectivo influye enormemente al coste final de los tratamientos ya que en las peores situaciones (pendiente >50% y combustible alto) los costes de los tratamientos son superiores a 2000€/ha mientras que en la situación contraria son inferiores a 1500€/ha.

En referencia a los costes del transporte (Figura 3b), se sitúan mayoritariamente (45%) entre los 300-400€/ha. En las zonas más inaccesibles y alejadas de la mayor parte de destinos (19%), los costes se sitúan entre 400-500€/ha, habiendo solo un 9% de zonas con costes mayores a los 500€/ha. En cuanto a los ingresos (Figura 3c), éstos suelen ser inferiores a 1500€/ha (58%) o entre 1500-2000€/ha (31%). Los ingresos superiores se concentran en zonas concretas de alta potencialidad de madera de calidad o altas cantidades de leña de encina, situados en zonas muy localizadas.

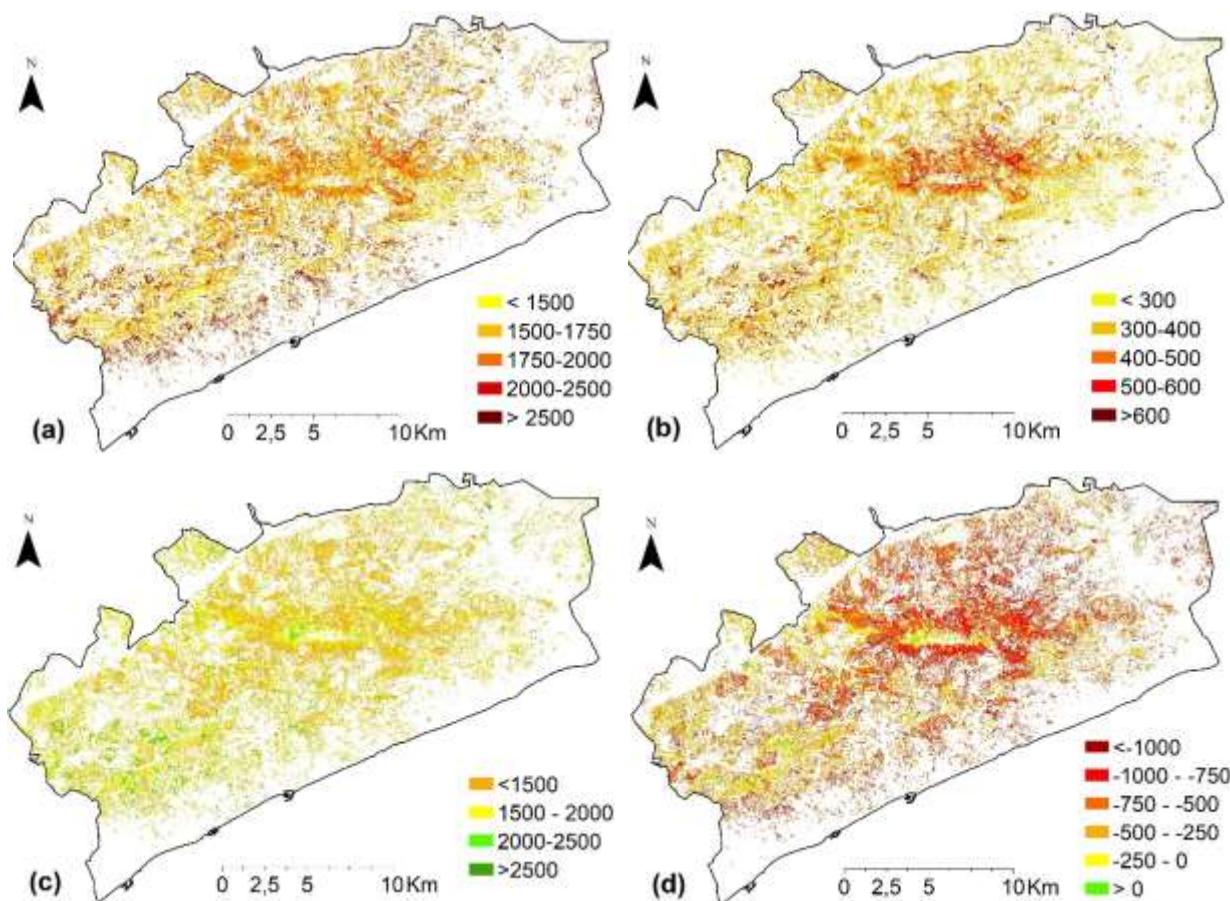


Figura 3. a) Coste de los tratamientos selvícolas (€/ha), b) coste del transporte (€/ha), c) ingresos derivados del producto (€/ha) y d) balance final (€/ha).

Con todo, en el balance final (Figura 3d), se observa que la mayor parte de las actuaciones forestales son deficitarias entre -250 y -1000 €/ha (74%), estando los balances habituales entre -500 y -750 €/ha. Las zonas con mayores costes de desbroce suponen unos balances más deficitarios ya que se trata de una inversión no compensada con la venta de producto. Otras zonas de balance muy deficitario son las cortas sanitarias intensas donde se extrae un producto de muy bajo valor, que tampoco compensa los costes. Las zonas con balance positivo son escasas (3%) y se

centran en las zonas donde la sierra de calidad presenta una proporción destacable o zonas de cortas a hecho. Finalmente, en las zonas con un coste de desbroce bajo y extracción de leñas de encina, los balances se sitúan sobre los -250€/ha.

## 5. Discusión

Una vez analizados los resultados obtenidos a partir de la herramienta GIS, se observa que, a grandes rasgos, la herramienta sigue las tendencias observadas en las distintas zonas del ámbito de estudio, según la experiencia de la APMC. Aunque no ha sido posible la realización de una validación, se esperan discrepancias con la realidad a nivel de celda, debido a las limitaciones temporales, espaciales y de simplificación de la propia herramienta.

La primera de las limitaciones hace referencia al importante peso de los condicionantes espaciales en los resultados, pudiendo haber otros condicionantes no representables a nivel espacial que tengan un peso importante en la toma de decisiones (ej. cambios en los mercados de la madera). En segundo lugar, cada capa de condicionantes espaciales está representada para un momento concreto en el tiempo, pudiéndose ver afectada en mayor o menor medida por la temporalidad. No obstante, es preferible mantener los datos originales y apoyarse en información de campo en el momento de uso de la herramienta, a aplicar crecimientos teóricos o simulaciones, para reducir el riesgo de sobreestimación. Finalmente, otra limitación es la derivada de su simplificación, como la focalización en sólo productos madereros, la no incorporación de productos y métodos potenciales, etc.

Por este motivo, los resultados obtenidos aportan una información de apoyo en la toma de decisiones, pero en ningún caso son aptos para el uso directo sin una comprobación previa en campo y la inclusión de particularidades propias de cada zona a actuar. Con todo, la herramienta está pensada como información de soporte, con la finalidad de tener un conocimiento inicial y una visión global de las posibles zonas de actuación antes del desarrollo de las mismas. Asimismo, se espera que sea una herramienta dinámica en el tiempo, adaptable a cambios futuros. Para ello se pretenden automatizar los procesos e incorporar los resultados en una base de datos de manera que cambiando las capas de los condicionantes de origen y/o los valores umbral de los condicionantes, se pueda ir actualizando la herramienta GIS.

Respecto a la metodología empleada, se considera replicable a otros ámbitos similares (macizo o asociación de propietarios), siendo necesaria la adaptación a las características de la zona de estudio en cuestión. Es especialmente importante la recogida de la experiencia de los gestores de la zona ya que marcará la selección de los condicionantes y sus valores umbral.

## 6. Conclusiones

En conclusión, el sistema logístico piloto desarrollado para el ámbito de la APMC permite obtener una herramienta GIS útil para la toma de decisiones del coordinador logístico y, a la vez, una metodología replicable a otros ámbitos similares. Aunque la herramienta se encuentra limitada por la disponibilidad de datos espaciales actualizados; se trata de un instrumento dinámico el cual se puede modificar y adaptar a los cambios futuros mediante una fácil incorporación de condicionantes y valores umbral. Asimismo, se recoge la experiencia de los gestores de la zona en un único utensilio; siendo muy útil como información de partida antes del desarrollo una actuación concreta, para planificar actuaciones a corto plazo o bien para prever necesidades logísticas y económicas. No obstante, se trata de una herramienta que aporta información complementaria simplificada, siendo necesaria la incorporación de las particularidades de cada actuación recogiendo información en campo.

## 7. Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias a la cofinanciación del programa LIFE (LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060)) y la recolección de la experiencia del equipo técnico de la Agrupación Forestal del Montnegre y Corredor SL.

## 8. Bibliografía

ASSOCIACIÓ DE PROPIETARIS FORESTALS DEL MONTNEGRE I EL CORREDOR (APMC); 2015. Millora de l'eficiència dels sistemes de treta de biomassa al Massís del Montnegre i el Corredor. Fase de plantejament i redacció. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural.

CENTRE DE LA PROPIETAT FORESTAL (CPF); 2016. Nota informativa sobre les condicions tècniques en la gestió de piles de biomassa en els aprofitaments forestals. Disponible en: <https://www.boscat.cat/wp-content/uploads/2016/05/NOTA-INFORMATIVA-condicionants-piles-biomassa2016.pdf> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

CONSORCI FORESTAL DE CATALUNYA (CFC); 2020. Taula de preus de la fusta. Disponible en: <https://www.forestal.cat/web/mercats> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I APLICACIONS FORESTALS (CREAF); 2009. Mapa de cobertes del sòl de Catalunya v4. Descargable en: <https://www.icgc.cat/Descarregues/Mapes-en-format-d-imatge/Cobertes-del-sol>. (Último acceso: 3 de enero de 2022).

CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I APLICACIONS FORESTALS (CREAF); 2015. Mapa de variables biofísiques de l'arbrat de Catalunya. Descargable en: <https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Capes-de-geoinformacio/Mapes-de-variables-biofisiques-de-l-arbrat-de-Catalunya>. (Último acceso: 3 de enero de 2022).

CENTRE DE CIÈNCIA I TECNOLOGÍA FORESTAL DE CATALUNYA (CTFC); CENTRE DE LA PROPIETAT FORESTAL (CPF); ASSOCIACIÓ DE PROPIETARIS FORESTALS DEL MONTNEGRE I EL CORREDOR (APMC), ASSOCIACIÓ DE PROPIETARIS FORESTALS SERRA DE BELLMUNT-COLLSACABRA (APSBE); 2018. Pliego de condiciones técnicas de las intervenciones demostrativas a implementar en los rodales C1-C4. LIFE MixForChange. LIFE15 CCA/ES/000060. Disponible en: <https://mixforchange.es> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

CENTRE DE CIÈNCIA I TECNOLOGÍA FORESTAL DE CATALUNYA (CTFC); CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I APLICACIONS FORESTALS (CREAF); DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I HABITATGE (DMAH); 2009. Pla estratègic d'aprofitament energètic dels boscos del Pallars Sobirà. Descargable en: [http://agricultura.gencat.cat/web/.content/06-medi-natural/gestio-forestal/enllaços-documents/biomassa-forestal/fitxers-binaris/estudi\\_pallars.pdf](http://agricultura.gencat.cat/web/.content/06-medi-natural/gestio-forestal/enllaços-documents/biomassa-forestal/fitxers-binaris/estudi_pallars.pdf) (Último acceso: 3 de enero de 2022).

DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA, PESCA I ALIMENTACIÓ (DARP); 2020. Guia de preus per actuacions forestals subvencionables. Estàndard d'avaluació de costos.

Disponible en: <http://agricultura.gencat.cat/web/.content/02-tramits/enllacos-documents/09653/m0609-an6.pdf> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

GUITART, L; ROSELL, M; 2014. Demostració de l'aplicació de nous models de gestió per a l'adaptació al canvi climàtic de masses d'alzina i suro al Massís del Montnegre i el Corredor. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural.

GONZÁLEZ-OLABARRIA, JR., PIQUÉ, M. BUSQUETS, E.; 2019. Cartografia de vegetació per la simulació d'incendis forestals. Servidor PREVINCAT. Disponible en: <http://previncat.ctfc.cat/> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (ICGC) ; 2011. Base topogràfica de Catalunya 1:5.000. Descargable en: <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Descargas/Cartografia-topografica/Base-topografica-de-Cataluna-1-5.000> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (ICGC) ; 2011. Base topogràfica de Catalunya 1:25.000. Descargable en: <https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-topografica/Base-topografica-1-25.000> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (ICGC) ; 2016. Model d'Elevacions del Terreny de Catalunya 5x5 m. Descargable en: <http://www.icc.cat/appdownloads/index.html?c=d1fxmde5m> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (ICGC); 2017. Anàlisi de les masses boscoses del Maresme: Estudi del seu decaïment a partir d'imatges Sentinel-2. Cartografía descargable en: <https://dadesobertes.diba.cat/datasets/decaiment-de-la-massa-forestal-dels-boscos-del-maresme>. (Último acceso: 3 de enero de 2022).

FERNÁNDEZ, J; 2021. Eines per a la presa de decisions a escala regional. Ponencia. Jornada: Millora de l'eficiència en la logística de les actuacions forestals. 18 d'octubre de 2021, online.

RODRÍGUEZ, J.; JUANATI., C; PIQUÉ., M; TOLOSANA., E; 2005. Tècniques de desembosc en l'aprofitament forestal. Colección: Sistemes i tècniques de desembosc. Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge. Centre de la Propietat Forestal.

SCOTT, J.; BURGAN, RE.; 2005. Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive set for use with Rothermel's Surface fire spread model. United States Department of Agriculture. Forest Service.

SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA; 2017. Normal climàtica de l'estació de Dosrius-PN Montnegre Corredor periodo 2007-2016. Disponible en: <https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/serveis-i-dades-climatiques/normals-climatiques-recents/> (Último acceso: 3 de enero de 2022).