



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

9CFE-1577

Organiza





Diseño y replanteo de la red de desembosque

ARRIOLABENGOA-MARTIARENA, M. (1), ETXEBESTE-LARRAÑAGA, I. (1) y SEVILLA-MARTÍNEZ, F. (2)

(1) Errez Kooperatiba / Tantai Baso Jabe Kooperatiba.

(2) Junta de Castilla y León.

Resumen

La red de desembosque es una infraestructura básica en la gestión forestal, no solo para la extracción de la madera, sino en la prevención de daños al suelo y a la vegetación remanente. A pesar de su importancia, en España hay muchos bosques en los que no existe una moderna red de desembosque, bien debido a que en las últimas décadas no se han efectuado aprovechamientos maderables de entidad o bien porque la saca se ha ejecutado sin establecer una organización permanente. La situación es especialmente crítica en las masas espontáneas, donde la tasa de extracción es muy baja.

En buena parte de Europa occidental los bosques cuentan con una red de desembosque permanente, con las calles unas veces señalizadas de forma perenne y otras no. Tras una revisión bibliográfica para examinar cómo se ha tratado esta cuestión en varios países, se ha constatado que la implementación de las redes de desembosque está cada vez más extendida y responde a la necesidad de optimizar la relación entre la minimización de daños al suelo forestal y la extracción de madera. Se exponen ejemplos prácticos de diseño y replanteo sobre el terreno de la red de desembosque, analizando los factores condicionantes y los resultados obtenidos.

Palabras clave

Protección suelo, topografía, aprovechamientos forestales, maquinaria forestal

1. Introducción

El suelo juega un papel crucial en los ecosistemas forestales. La aireación, la disponibilidad de agua y nutrientes, y los flujos de energía son procesos esenciales en la productividad forestal y que sostienen la biodiversidad (DOMINATI *et al.*2010). Salvo excepciones justificadas en la especial fragilidad de los suelos u otros motivos infrecuentes, las cortas en las que se aprovecha la madera resultante exigen el trabajo de maquinaria que realiza toda o parte de la explotación, normalmente autocargadores, arrastradores y procesadoras (CAMBI *et al.*2015). La apuesta por la mecanización de las explotaciones obedece no solo a razones de productividad, sino también de seguridad y salud de los trabajadores, de falta de mano de obra y otras. El aprovechamiento organizado de la madera exige disponer de una red de desembosque por la que se desplace la maquinaria (HORN *et al.*2004, ASHTON y KELTY2018). La empleada habitualmente en Europa requiere para moverse sin daños a los árboles colindantes una anchura mínima de cuatro metros que deben estar despejados de árboles y otros obstáculos. Para evitar afectar al suelo fuera de la red de desembosque, especialmente en suelos pesados, las

máquinas deben mantenerse dentro de ella aunque puedan moverse fuera de ellas sin causar daños a la vegetación que deba permanecer tras el aprovechamiento (SANCHEZ2017, ASHTON y KELTY2018); es decir, incluso en una corta a hecho es conveniente que el movimiento de la maquinaria se limite a las calles establecidas.

La compactación afecta negativamente y de forma significativa al crecimiento de la masa y a la salud del suelo (CAMBI *et al.*2015, GARTZIA-BENGOETXEA *et al.*2021, POUSSE *et al.*2022), así como a la pérdida de biodiversidad por afección a la regeneración y alteración de la estructura edáfica (HARTMANN *et al.*2014, POUSSE *et al.*2022). El resultado más evidente de la compactación del suelo es la formación de rodadas profundas o surcos creados por una o más pasadas de los vehículos, con ruedas o sobre orugas, utilizados en la explotación forestal. La mezcla de las capas superiores del suelo, la formación de barro y la pérdida de aireación o incluso de suelo están relacionados con la formación de la rodada y puede tener grandes impactos ecológicos. Estos daños pueden tardar décadas en desaparecer (GARTZIA-BENGOETXEA *et al.*2021, LABELLE *et al.*2022). La aparición de rodadas es sinónimo de que se ha excedido la capacidad de carga del suelo (CAMBI *et al.*2015). La compactación del suelo depende de varios factores: (1) caracteres inherentes del suelo, tales como la pendiente, textura o la humedad; (2) la cantidad de ramas y restos vegetales en el suelo y (3) factores relacionados a la maquinaria empleada, el número de pasadas y el sistema de desembosque empleado (MCNABB *et al.*2001, HORN *et al.*2004, CAMBI *et al.*2015, CANGA *et al.*2018). La Tabla 1 resume los factores revisados por CAMBI *et al.*(2015). En función de la textura del suelo, su densidad aparente puede verse incrementada en un 10 %, 7 % y 4 % a 5, 10 y 20 cm de profundidad respectivamente, tras tan sólo tres pasadas de maquinaria equipada con ruedas anchas (MCNABB *et al.*2001).

*Tabla 1.- Factores que influyen en compactación de los suelos forestales inducida por la maquinaria y el resumen de sus efectos. El número de flechas hacia arriba o hacia abajo es proporcional al papel que juega el factor mencionado en favorecer o prevenir la compactación del suelo, mientras que un signo igual significa que no juega un papel sustancial(adaptado de CAMBI *et al.* 2015).*

Grupo	Factor	Efecto sobre la compactación
Suelo	Densidad inicial aparente del suelo	↑ ↑
	Humedad	↑ ↑
	Suelos helados	↓ ↓
	Textura del suelo	↑ ↑
	Estabilidad agregativa	↑
	Contenido de materia orgánica	↑
	Pendiente	↑
Desembosque	Número de pasadas	↑ ↑ hasta 5-10 viajes ↑ >10 viajes

Método desembosque	↑ ↑ Autocargador	↑ Cableado	Cableado desde pista ≈ Arrastre
Sistema aprovechamiento	Por trozas ≈ Fuste entero		
Dirección	↑ ↑ ↑ hacia arriba	↑ hacia abajo	
Peso maquinaria	↑ ↑ ↑		
Velocidad	Información insuficiente		
Experiencia operador	Información insuficiente		
Presión de contacto	↑ ↑		
Tipo cubierta / rodada	=		
Presión inflado neumáticos	↑		
Masa forestal	Densidad o tipología forestal	Información insuficiente	

Partiendo de que parece poco probable que el daño derivado por la maquinaria forestal se pueda evitar (VOSSBRINK y HORN2004, LABELLE *et al.*2022), se debe trabajar la reducción del impacto de la maquinaria. Esto se puede conseguir mediante las siguientes acciones: (1) reforzando el suelo con restos vegetales, (2) reduciendo en la medida de lo posible la presión por contacto entre la maquinaria y el suelo, (3) programando el desembosque para cuando las condiciones edáficas sean adecuadas, *i. e.* el suelo esté seco, y (4) planificando el desembosque de forma concienzuda (CHAMEN *et al.*2003, CAMBI *et al.*2015, LABELLE *et al.*2022).

La planificación y el establecimiento de redes permanentes de desembosque es una tarea que tradicionalmente ha sido considerada en la silvicultura desde un punto de vista de rendimiento económico (GARLAND1983, CONTRERAS *et al.*2016, ASHTON y KELTY2018, SOMAN *et al.*2019). La protección del suelo y los procesos que se dan en él son una parte esencial de la silvicultura y, en particular, de la próxima a la naturaleza y de cubierta continua (SANCHEZ2017, POMMERENING2023). Los requisitos específicos de este tipo de gestión hacen que el diseño de una red permanente de desembosque combine explotabilidad y protección del suelo (GARLAND1983, VOPĚNKA *et al.*2015, GUMUS y TURK2016). Los resultados son claros; el área de suelo afectada se puede reducir entre un 50 y un 75 % mediante una planificación adecuada de la red de desembosque (LEWIN y PEUCH2004, GUMUS y TURK2016, RUCH *et al.*2022).

2. Objetivos

Se pretende justificar la necesidad de disponer de una red de desembosque permanente, exponer los condicionantes que influyen en su diseño y mostrar ejemplos prácticos de cómo se lleva a cabo su ejecución sobre el terreno.

En definitiva, el artículo tiene el objetivo de establecer unas bases prácticas y



conceptuales para el correcto establecimiento de las redes permanentes de desembosque, de forma que se optimicen los esfuerzos del aprovechamiento y minimicen los impactos ecológicos y económicos. Para ello, se realiza una revisión bibliográfica y se aportan conclusiones obtenidas mediante experiencias llevadas a cabo en el norte de España, con el objetivo de mostrar de forma concisa y gráfica la replicabilidad de la metodología en otros montes. Trata, por tanto, de aportar soluciones viables a la necesidad de buscar estrategias forestales actualizadas que faciliten la mecanización de los trabajos, mejorando con ello las condiciones laborales e incrementando la viabilidad de los aprovechamientos y que, a su vez, minimicen los daños generados a las masas y, especialmente, a los suelos forestales.

3. Metodología

Se ha efectuado una revisión bibliográfica de publicaciones de Europa occidental que tratan sobre el diseño de la red de desembosque, extractando lo esencial y adaptándolo, en base a la experiencia práctica de los autores, a la realidad de los montes españoles. La revisión bibliográfica se ha centrado, mayormente, en contrastar la necesidad y funcionalidad de la ejecución de calles permanentes, y en definir las particularidades y los principales factores en los que se debe centrar la atención al diseñar una red de desembosque permanente.

La búsqueda de publicaciones relevantes se ha enfocado según se explica a continuación. Una primera ronda de búsquedas se ha centrado en las palabras inglesas clave “*skid trail(s)*”, “*extraction rack/road/trail*” y “*soil disturbance*”, así como en los términos relacionados. Se han realizado consultas mediante los motores de búsqueda de Web of Science y Google Scholar. El reducido número de publicaciones científicas en la temática se ha complementado con búsquedas enfocadas a la detección de literatura gris relacionada con la temática tratada utilizando palabras clave en otros idiomas, por ejemplo, “*cloisonnement*”.

La segunda parte del trabajo se ha centrado en la descripción de dos ejemplos prácticos en los que se han aplicado las directrices mencionadas en la literatura consultada; corrigiendo los errores de una antigua red de calles en el primer ejemplo y diseñando una nueva red en el segundo ejemplo. Para el replanteo de la red de desembosque se ha partido de un modelo digital de elevaciones (DEM) y las ortofotografías de las áreas de estudio en el ejemplo 1 (Abadiño, Bizkaia) y el ejemplo 2 (Leciñana, Burgos). El señalamiento de la red de desembosque se ha realizado con pintura de larga duración. Se han utilizado instrumentos de medición de distancias habituales (p. ej. Vertex o el telémetro Nikon Forestry Pro II) para establecer en campo las distancias entre las vías de desembosque. La trazada de las vías se ha registrado mediante GPS. El diseño se ha completado en gabinete mediante el uso de software de gestión de sistemas de información geográfica (QGIS.ORG2024). Más información en la sección de resultados.

4. Resultados

Tras analizar la bibliografía que figura al final de este artículo, se ha llegado a la conclusión de que, en Europa occidental, con carácter general, se efectúan calles de desembosque orientadas en la línea de máxima pendiente allí donde la



maquinaria pueda transitar con relativa facilidad, sin especiales riesgos para los trabajadores y sin infligir daños al suelo (FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT2003, STÜCKELBERGER *et al.*2007, DE PAUL *et al.*2009, MOUREY2012, BIENZ y FREULER2022, POUSSE *et al.*2022, RUCH *et al.*2022). Aunque el límite de pendiente del terreno oscila alrededor del 40 %, numerosos estudios señalan que no se debería operar con maquinaria por encima del 25 % (LABELLE *et al.*2022 y referencias citadas en el trabajo). Si bien la maquinaria moderna puede superar estas cifras, raramente las condiciones son óptimas y es frecuente que patine por elevada humedad, pedregosidad superficial u otras causas. Si se usan cabrestantes que sujeten las máquinas que realizan los trabajos la pendiente se puede elevar hasta el 70 %, e incluso más si se dan las circunstancias adecuadas.

Es importante limitar la pendiente lateral de las vías, por el riesgo de vuelco además de daño a los árboles del borde de la calle. No obstante, es necesario recurrir a soluciones de compromiso para evitar que, por seguir estrictamente las líneas de máxima pendiente, se llegue a diseños de la red poco eficaces. A veces es necesario hacer calles con una ligera pendiente transversal, que no supere el 7 %, por ejemplo para evitar que dos calles discurren paralelas a una distancia inadecuada. Aunque la maquinaria usada en explotaciones forestales admite una pendiente transversal mucho mayor al mencionado 7 %, hay que tener en cuenta que el terreno de monte no es una plataforma lisa, sino que presenta irregularidades que puntualmente incrementan la pendiente lateral, además de que hay otros factores que provocan la inestabilidad, como las cargas en altura o en el extremo del brazo de procesadoras o autocargadores.

Se debe realizar un diseño de la red viaria fundado en la organización de los trabajos de gestión, incluyendo la prevención de riesgos, para lo que es clave un análisis topográfico y geológico (por ejemplo, analizar la posible inestabilidad de las laderas), sin dar gran relevancia a la vegetación existente en el momento, es decir, pensando a largo plazo (DE PAUL *et al.*2009, POUSSE *et al.*2022). No obstante, se pueden aprovechar claros ya existentes para trazar calles si coinciden aproximadamente con el diseño general. E incluso se puede desviar una calle, bien describiendo una ligera curva o bien variando la distancia habitual entre calles, cuando haya un elemento excepcional que sea necesario preservar: un árbol de una especie muy poco frecuente en la zona, de extraordinaria calidad potencial de madera, con un porte insólito o un nido de una especie escasa, un arbusto sorprendente o un elemento del acervo cultural de la zona.

Por norma general, para que todas las operaciones de explotación de madera sean completamente mecanizables, utilizando las procesadoras habituales en las claras, la separación entre calles no debe superar los 18 m entre ejes. No obstante, son posibles distancias mayores que no suponen un gran encarecimiento en los trabajos: los árboles ubicados en el medio de las entrecalles, donde no alcanza el brazo de la procesadora, se pueden apea manualmente, pero con un cierto ángulo con relación a las calles de forma que la procesadora pueda alcanzar su punta y así despiezar el resto del árbol. La distancia de separación elegida es determinante a la hora de minimizar el área total afectada por las calles. El trabajo de LEWIN y PEUCH (2004) es una de las pocas publicaciones detectadas en el que se determina

la reducción del área impactada. Al comparar el desembosque sin y con calles permanentes, estos autores constataron una reducción media del 59% en el área afectada por la maquinaria.

Cuanto mayor sea la pendiente del terreno más difícil es apearse los pies con un ángulo respecto a la dirección de las calles, puesto que tanto esta como la caída natural de muchos árboles es en la línea de máxima pendiente. A igualdad de circunstancias, es más sencillo aproximar la punta del árbol a las calles cuanto más altos sean los pies, ya que hace falta dar menos ángulo a la caída para la misma aproximación. Estas circunstancias explican que en algunos bosques europeos, con pies de gran talla y ubicados en terrenos suaves, la separación entre ejes de calles alcance los 40 m (PICCHIO *et al.*2020b). El talador también se encargaría de podar las ramas gruesas cuya separación del tronco es dificultosa de forma mecanizada, además de otras posibles labores que deben coordinar entre el operario manual y el de la procesadora: la idea es repartir de forma flexible los trabajos para adaptarse a cada circunstancia concreta minimizando tiempos muertos. Aunque el trabajo de apeo en equipo con calles separadas más de 18 m puede ser adecuado en una gran variedad de bosques, más en los de frondosas de cierto tamaño, donde es casi inevitable el concurso de un motoserrista, puesto que suelen tener portes, ramas y dureza que resultan difíciles de trabajar por unas máquinas que están diseñadas para manejar coníferas (DE PAUL *et al.*2009, POUSSE *et al.*2022, RUCH *et al.*2022, DE WARNAFFE2023). Sobre todo en primeras claras o con maderas de escaso tamaño, existe la opción de dejar sin trabajar o sin extraer la madera de las bandas centrales del espacio ubicado entre calles, cuando éstas tienen sus ejes a más de 18 m.

Tabla 2.- Factores que influyen en la separación entre calles

Motivos para separar las calles	Razones para juntar las calles
terreno llano o muy suave	pendiente elevada
rocas dispersas dentro del rodal de corta	ausencia de obstáculos a la circulación
existe mano de obra abundante	se desea mecanizar al máximo
presión social contra las cortas	parcela de corta de tamaño reducido
elevada calidad de estación	especies poco productivas
los árboles a cortar son de gran talla	se aprovechan pies de pequeño tamaño
objetivo de madera de gran valor	escaso valor actual de la madera
riesgo de brotes epicórmicos	especies en las que la calidad se valora poco
paisaje especialmente valorado	calles más estrechas de lo habitual
bosques caducifolios	lugar apartado y poco llamativo en el paisaje
pies que no puede trabajar una procesadora	dominio de coníferas



En las zonas donde no sea posible el tránsito de la maquinaria sin efectuar movimientos de tierra, en lugar de calles se construirán pistas de desembosque. A diferencia de las calles, las pistas tenderán a seguir más bien una curva de nivel, aunque cuando la situación lo requiera se diseñarán con cierta pendiente para salvar desniveles (DE PAUL *et al.*2009, PISCHEDDA *et al.*2017, POUSSE *et al.*2022). Una vez concluido el aprovechamiento existe la opción de dejar integradas las pistas de desembosque dentro de la infraestructura viaria general del monte o bien anularlas para el tránsito rodado. Esto se puede conseguir de varias formas: entre otras, abriendo una zanja, colocando rocas en la entrada o dejando restos de la corta que impidan el paso. En áreas con elevado riesgo de incendios es conveniente dejar al menos parte de las pistas de desembosque aptas para el tránsito de un camión autobomba.

A veces es conveniente tener una red de calles previa a la de desembosque, para poder acceder con facilidad a terrenos que exigen un seguimiento, en los que si no se establecen calles es difícil o penoso acceder (KERR y HAUFÉ2011, SANCHEZ2017, POMMERENING2023). Es lo que se denomina compartimentación selvícola, que consiste en la apertura de estrechas calles (en torno al metro de anchura) desbrozadas. Una opción es diseñar estas calles de forma que se aprovechen una de cada dos dentro de la futura red de desembosque (SANCHEZ2017).

Se debe evitar el tránsito de maquinaria cuando los suelos están saturados de agua (DE PAUL *et al.*2009, PISCHEDDA *et al.*2017, POUSSE *et al.*2022). Cuando su contenido de agua es elevado, pero no llega a la saturación, el efecto de la presión varía según la naturaleza del sustrato: más crítico en suelos limosos y menos en los arenosos o pedregosos. Si el suelo está seco se puede circular independientemente de las características edáficas. Los efectos edáficos de la maquinaria en función de la humedad del terreno deberían jugar un papel preponderante en el establecimiento de periodos de limitación a la explotación (VON WILPERT y SCHÄFFER2006, DE PAUL *et al.*2009, PISCHEDDA *et al.*2017, POUSSE *et al.*2022), aunque en España se suele dar mayor relevancia al riesgo de incendios o a las molestias a especies de fauna.

Para replantear la red de desembosque, en primer lugar, conviene tener unas líneas maestras en torno a las que se va a articular. Hay que analizar si la red de pistas es suficiente o si es necesario construir o mejorar alguna. Posteriormente se diseña la red de calles, apoyada en la de pistas. En general las lomas se suelen tomar como líneas básicas para el desembosque y a partir de ellas organizar en espina de pescado las calles secundarias (BARTOLI *et al.*2009, DE PAUL *et al.*2009, PISCHEDDA *et al.*2017). Si las vaguadas son suaves y no especialmente húmedas, también se pueden usar como líneas directoras, con la ventaja de que la forma más sencilla de evacuar la madera es que esta se extraiga hacia abajo, lo que además reduce el impacto edáfico. Sin embargo, las vaguadas suelen presentar mayor vulnerabilidad, ligada mayormente a la humedad, y se debe estudiar con gran atención el diseño de calles en estas zonas. También hay que eludir la circulación por las vaguadas cuando estas son encajadas o si sustentan una vegetación de especial interés. En todo caso, hay muchas opciones, algunas de las cuales se



podrán apreciar en los ejemplos.

Aunque el trabajo de replanteo de la red de desembosque se realiza básicamente sobre el terreno, en muchos casos, a partir de mapas de relieve y vegetación se puede efectuar un diseño en gabinete que posteriormente se limite a trasladar al monte mediante las coordenadas fijadas en el plano. Se han detectado varios protocolos automatizados en la revisión bibliográfica (VOPĚNKA *et al.*2015, GUMUS y TURK2016, PICCHIO *et al.*2020a, BIENZ y FREULER2022). De todas formas, si bien estas herramientas pueden ayudar a establecer un diseño de partida, la traslación al terreno se debe hacer con flexibilidad y conocimiento. De hecho, a pesar de disponer de una cartografía cada vez más fidedigna, todavía son muchas las cuestiones que no se aprecian en ella: un nido, un árbol muy especial, pequeñas rocas, zonas húmedas, forma del fondo de la vaguada, micro relieve en general, etc. Un LIDAR de precisión debería servir para identificar buena parte de las limitaciones a la construcción de las vías de desembosque, pero a fecha de hoy ni centenares de pulsos láser por metro cuadrado lanzados desde un dron son suficientes para apreciar lo que el profesional identifica con facilidad en el campo, ni siquiera accidentes geográficos como rocas dispersas entre un sotobosque espeso. En consecuencia, para el diseño de la red de desembosque se debe efectuar un trabajo en oficina para dar contexto a la zona concreta de actuación y para definir las líneas generales en las que se va a estructurar la red, cuyas precisas características solo se podrán establecer con un trabajo del profesional sobre el terreno.

Las calles de desembosque se deben marcar en el monte previamente a su apertura. Desgraciadamente, como muchas otras operaciones selvícolas en España, es habitual que no se realice el señalamiento previo de las calles y sean los operarios los que van decidiendo su trazado sobre la marcha. Incluso con buena voluntad y sin valorar que los intereses del adjudicatario de una corta no coinciden con los del propietario o con los objetivos de la gestión a largo plazo, las consecuencias de esta improvisada forma de trabajar son muy negativas: por ejemplo, si no se recorren las calles de principio a final antes de abrirlas, pueden aparecer obstáculos que impidan el tránsito y obliguen a giros bruscos o a dejar una calle cortada. Con carácter general, presuponer que el trabajo lo efectúan mejor los operarios sin un replanteo previo de otros profesionales forestales dice muy poco en favor de la cualificación técnica o de la implicación de estos últimos.

Hay que pensar que, si se diseña adecuadamente, la red de desembosque es para siempre (hasta que haya un cambio tecnológico que revolucione la silvicultura), por lo que merece la pena su replanteo previo por personal especializado. Y, dado que hoy día es muy fácil georreferenciarla, conviene tenerla representada en una capa. Esto se puede hacer con carácter previo, mediante un GPS mientras se marcan las calles (es suficiente la precisión de un teléfono móvil), o sobre una ortofotografía cuando están ejecutadas (LEWIN y PEUCH2004). Esta representación gráfica es interesante, entre otros motivos, porque a medida que se efectúan cortas y la densidad de árboles es menor, puede llegar a costar identificar las calles sobre el terreno; así, cuando se ejecuta una nueva corta, se entrega la capa de calles a la empresa adjudicataria para facilitar que cumpla con la obligación de que su



maquinaria no pise el terreno fuera de las calles.

Las calles se pueden marcar bien señalando para su corta todos los árboles que se deben extraer para que las máquinas puedan circular, o también marcando los pies de ambos bordes que deben quedar. En ambos casos las marcas que se empleen para definir las calles conviene que sean diferentes a las de los pies a cortar por otros motivos (DE PAUL *et al.*2009, PISCHEDDA *et al.*2017, POUSSE *et al.*2022). Además, existe la opción de indicar solo el eje de las calles, lo que facilita mucho el replanteo cuando la cantidad de pies es elevada. Sobre todo si se espera que la apertura de las calles se efectúe de forma mecanizada (procesadora, cizalla...), los pies se deben marcar por ambos lados, ya que en general no se conoce *a priori* el sentido del movimiento de las máquinas. Y es fundamental no cortar antes los árboles de las entrecalles que los de las calles, ya que esto volvería el aprovechamiento mucho menos eficiente y más peligroso: el apeo y el desembosque en las calles es mucho más sencillo que en el resto del rodal, porque se eliminan todos los pies en una banda orientada en la dirección de la pendiente. Cuando ya están abiertas las calles, la corta y extracción de pies en el resto del bosque se facilita enormemente. También el señalamiento, y no solo por la accesibilidad, sino porque una vez que se ha compartimentado el bosque se estructura mucho mejor en la mente de los que marcan y es mucho más sencillo elegir qué árboles deben cortarse, con la ventaja añadida de que si ya se sabe por dónde van a discurrir las calles se identifican los pies de borde, que son objeto de un tratamiento diferente.

En bosques donde la rentabilidad de la segunda clara no esté comprometida aunque su peso sea bajo, una opción a valorar es hacer una primera corta en la que solo se abran las calles de desembosque. Este es un aprovechamiento mucho más sencillo y rentable que una corta selectiva, y puede efectuarse por personal menos especializado. Solo la apertura de las calles puede suponer un peso de corta relativamente elevado, del 22 % en el caso más habitual de separación de 18 m entre ejes, si bien baja al 13 % si la distancia se aumenta hasta 30 m (LEWIN y PEUCH2004, DE PAUL *et al.*2009, MOUREY2012). Estos pesos de corta se reducen si se aprovechan los huecos existentes, moviendo la calle uno o dos metros, siempre que se respete la organización general de la red de desembosque y que esto no suponga desviarse apreciablemente de la línea de máxima pendiente. Hay que tener en cuenta que la ruptura del dosel superior mediante bandas de 4 m que cruzan el bosque supone un cambio importante en la iluminación del subpiso y, en lugares sensibles, frente al riesgo de derribos. La opción de ejecutar una corta solo para materializar la red de desembosque tiene sentido sobre todo con árboles cuya madera puede alcanzar un alto valor y especialmente si son propensos a brotes epicórmicos, pero siempre hay que tener presente la pérdida de rentabilidad en la corta cuando no se efectúa su parte sistemática; es decir, es preferible juntar en un aprovechamiento la apertura de calles y la clara selectiva cuando solo esta última no sería rentable. En las masas donde la necesidad de clara sea urgente pero no se puedan hacer ambos trabajos a la vez, se pueden abrir las calles y volver a los 2-3 años para hacer la clara (KERR y HAUFÉ2011).

En el diseño de la infraestructura viaria de los montes hay que prever ensanches



al menos por tres causas: parques de madera donde esta se apila como paso intermedio entre el desembosque y la carga por un camión de carretera, o por un camión forestal cuando se realiza la denominada doble saca; volvederos donde un vehículo pueda cambiar el sentido de la marcha o cruzarse con otro; curvas de pequeño radio o cambios bruscos de dirección que se deben despejar de vegetación para facilitar las maniobras y la visibilidad desde los vehículos (LEWIN y PEUCH2004, DE PAUL *et al.*2009, MOUREY2012). Por lo tanto, cuando se planifica la red de desembosque no es suficiente con dibujar líneas, sino que se debe incluir su dimensión superficial o al menos los lugares donde la anchura habitual de pistas y calles de desembosque, que es de 4 m, se debe ampliar para cumplir con los objetivos de permitir una gestión segura de los aprovechamientos forestales, integrada con el resto de las actividades de los montes.

Ejemplos:

1. Abadiño. Bizkaia.

Repoblación realizada en 1990 con tres especies principales: *Quercus rubra*, *Fagus sylvatica* y *Picea abies*. En el año 2006 se realizó el primer clareo, ejecutando la corta manualmente y extrayendo la madera mediante *skidder*. Como es habitual en primeros clareos, la selección de pies a apejar y el diseño del desembosque se dejó en manos del rematante. Esta decisión, muchas veces determinada por la falta de tiempo de los gestores y, sobre todo, por la falta de costumbre de diseñar una red de desembosque permanente, hace que se desarrolle una infraestructura viaria con pocas posibilidades de abastecer las necesidades del futuro.

En este caso, tal y como se aprecia en la figura 1 (líneas amarillas), las calles se hicieron sin un espaciamiento constante y, en ocasiones, en sentido de las curvas de nivel. Las condiciones particulares del momento, determinadas por pies de diámetro pequeño y maquinaria capaz de trabajar en pendientes laterales pronunciadas, permitieron que dicha red de calles resultara viable para la explotación.

No obstante, 19 años después, al hacer la primera clara, el gestor se ve obligado a diseñar una nueva red de calles que se adecue a las condiciones presentes; mayores diámetros y un aprovechamiento realizado mediante procesadora. Esta vez se decide hacer una red de calles permanente, que optimice la rentabilidad tanto de la presente como de las futuras claras, indistintamente a cuándo y cómo se hagan. Cabe decir, que a nivel de País Vasco no suele ser nada habitual realizar calles de desembosque permanentes y que ha sido decisiva la iniciativa de los gestores de la zona, en este caso técnicos de la Diputación Foral de Bizkaia, quienes han contratado el servicio de la cooperativa de propietarios Tantai para el señalamiento de la clara y el diseño de la red de desembosque permanente.

En esta ocasión se ha decidido marcar una distancia entre ejes de 23 metros y se han aprovechado, en la medida de lo posible, las calles realizadas en 2006. Tal y como se observa en la figura 1, todas las calles excepto dos se han diseñado en línea de máxima pendiente (líneas azules). Las calles en dirección de curvas de nivel (líneas rojas) sirven para conectar las calles verticales con las pistas. Al diseñar estas calles transversales, hay que tener un cuidado especial en que su

trazado discurra, en la medida de lo posible, por zonas de baja pendiente, o al menos no muy elevada. En este caso, se ha aprovechado la existencia de una planicie natural o naturalizada para la calle transversal de abajo y una pendiente muy suave para la calle de arriba. Las curvas de nivel no reflejan estos detalles, que solo son patentes en el campo. Las flechas de las calles indican el sentido preferente de extracción de la madera; en el caso de las calles transversales indican ambas direcciones. Siempre que sea posible hay que sacar la madera hacia abajo, minimizando los daños y optimizando el rendimiento.

El arroyo que transcurre al oeste del rodal limita considerablemente la explotación, debido a que resulta inviable diseñar calles en las vaguadas orientadas hacia el arroyo. Además, en la parte baja genera zonas inundables que son especialmente vulnerables a la compactación. En estos casos, conviene no tomar decisiones demasiado arriesgadas, anteponiendo la minimización del impacto ambiental a la extracción de esa madera. No obstante, existen alternativas, como el arrastre mediante cable, que posibilitan el aprovechamiento maderero en dichas zonas.

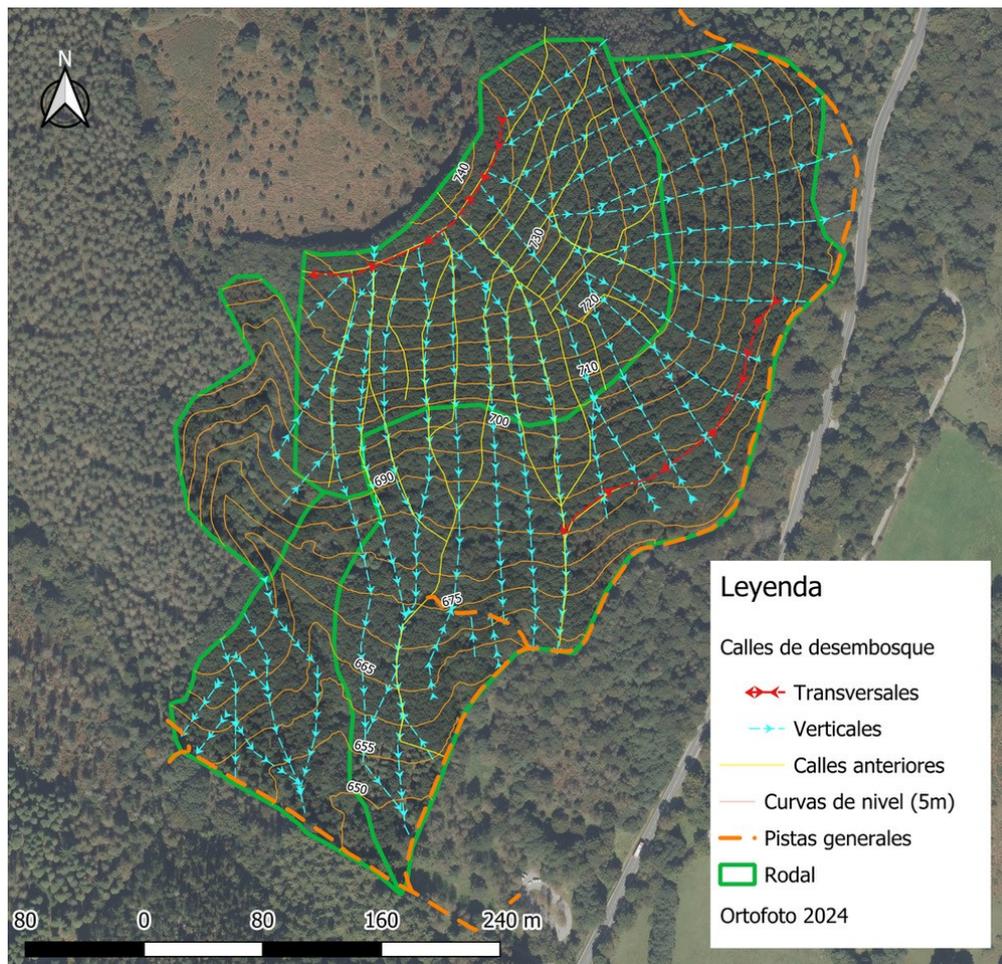


Figura 1: Red de vías de desembosque en Abadiño. En amarillo las calles antiguas, diseñadas en 2006, y en azul las realizadas recientemente, atendiendo a los resultados de esta publicación. En rojo se han marcado dos calles que no siguen la



dirección de máxima pendiente pero que aprovechan zonas de baja pendiente transversal. Las flechas indican el sentido preferente de desembosque.

2. Leciñana. Burgos.

Este segundo ejemplo muestra la red de desembosque diseñada para el aprovechamiento de un hayedo con rodales de bosque mixto con abundancia de *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*, *Q. faginea*, *Acer campestre*, *Sorbus aria* y *S. torminalis*, en Leciñana, Burgos. Este rodal presenta dificultades añadidas por cinco factores destacables: inexistencia de pistas, segregación del rodal por las vías del tren, orografía irregular y escarpada, movimientos de reptación en la ladera y elevada humedad. Ante ello, y con el objetivo de abordar la situación con la máxima eficiencia y mínimo impacto posible, se decidió abrir nuevas pistas, indicadas en color naranja, y diseñar calles en toda aquella superficie que lo permitiera (líneas azules). Debido a los fenómenos de reptación y para no generar una inestabilidad adicional, en el trazado de las pistas se buscaron zonas de pendiente transversal baja donde se minimizase el movimiento de tierras; se aprovecharon pequeños rellanos naturales, inapreciables en la cartografía disponible pero que en el terreno sí estaban bien definidos. Se puede observar en la imagen que tanto las vaguadas como las divisorias se han empleado a modo de conectores de las calles que convergen a ellas, diseñando, en algunos casos, calles bidireccionales.

Dadas las condiciones de la zona, a pesar de un diseño bien desarrollado, la madera se ha tenido que extraer en algunas ocasiones pendiente arriba, como en la ladera situada al sur de las vías del tren. Este hecho condiciona notablemente las labores de desembosque, ya que impide realizar estos trabajos con humedad del terreno elevada, algo muy frecuente en el lugar. El aprovechamiento se ha ejecutado de forma discontinua a lo largo de varios años, aprovechando periodos de baja humedad, sobre todo a finales de invierno y en otoño. Se ha empleado un *skidder*, utilizando el cable terrestre para llegar a aquellas zonas donde no se han podido establecer calles.

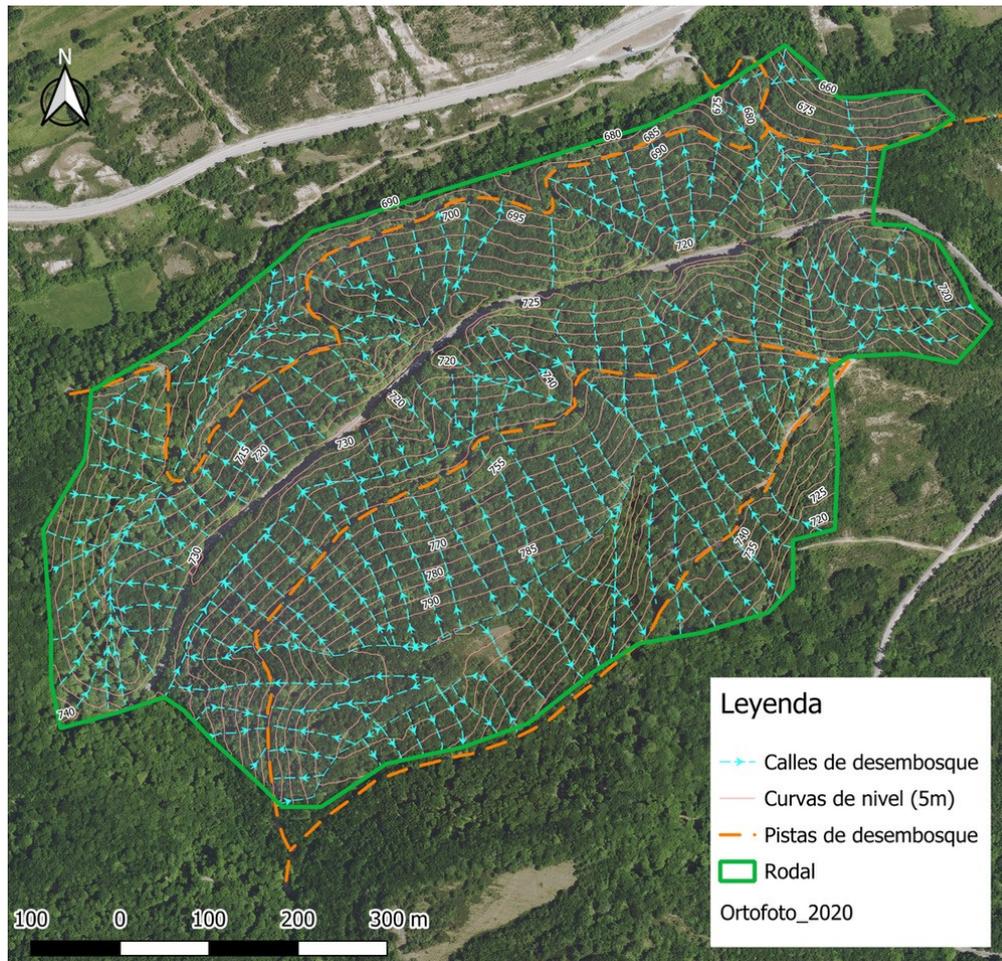


Figura 2: Red de vías de desembosque en Leciñana. En azul las calles de desembosque y en naranja las pistas. Tal y como se puede apreciar en la imagen, algunas calles de las divisorias son bidireccionales.

5. Discusión

Mientras que el establecimiento de una red de desembosque se considera habitualmente en España una necesidad en las plantaciones jóvenes, la idea está mucho menos extendida en bosques espontáneos, sobre todo si están dominados por frondosas. También se asocia esta red con un objetivo productivo preponderante (ver por ejemplo SOMAN *et al.*2019), cuando en realidad debería ser lo contrario: uno de los motivos principales para su establecimiento es evitar daños edáficos y a la vegetación remanente, especialmente a la regeneración y a los pies de futuro, pero también al sotobosque y a especies secundarias o escasas, por ejemplo (WOOD *et al.*2003, VON WILPERT y SCHÄFFER2006). Hay que asumir que la red de desembosque es imprescindible para la gestión forestal en general y muy en particular para alcanzar objetivos de conservación (SANCHEZ2017, POMMERENING2023). Estos en muchos casos precisan de actuaciones suaves, para dirigir los procesos ecológicos de forma pausada pero decidida: no sirven intervenciones esporádicas cuya escasa frecuencia se intenta compensar aumentando la intensidad. Si se dispone de una red viaria adecuada es mucho más fácil mejorar la rentabilidad de las explotaciones y, por tanto, es más probable que se pueda intervenir cuando es necesario, sin tener que exponer al monte al estrés



que resulta de una actuación demasiado brusca o intensa (DE WARNAFFE2023).

Es necesario conjugar el establecimiento de una red de desembosque eficiente para el objetivo de facilitar la explotación minimizando daños y a la vez afectar lo menos posible al paisaje. Para lograrlo hay variadas técnicas, que consisten básicamente en elegir, entre las opciones factibles, aquellas en las que la red sea menos visible desde los lugares más visitados. Hacer curvas para que las calles sean menos perceptibles no es buena opción con carácter general, dado que si las calles son rectas las operaciones se facilitan y se minimizan los daños a los pies de su borde. Si la pendiente del terreno es elevada, las calles se deben ceñir más escrupulosamente a la dirección de la máxima pendiente, ya que de lo contrario el trabajo se vuelve peligroso; esto puede llevar a describir curvas, pero en esta situación estas no deben responder al deseo de que las calles impacten menos visualmente. Es necesario asumir que un cierto nivel de impacto es inevitable, e intentar educar a la población en distinguir cuándo algo está ejecutado con esmero y cuidado y cuándo no. El impacto visual es especialmente elevado en masas jóvenes, ya que el espaciamiento entre pies suele ser más reducido; las calles se hacen más inapreciables a medida en que evoluciona la masa. Por otro lado, en invierno, y sobre todo en las nevadas, a escala de paisaje las calles destacan más en bosques dominados por frondosas caducifolias.

La opción de que las calles sean más estrechas de los cuatro metros habituales es factible donde los árboles son de tamaño reducido y por tanto puede utilizarse maquinaria más pequeña. Unas calles más estrechas son ventajosas porque reducen el impacto sobre el suelo, al estar sometido este a menores presiones derivadas de aplicar cargas más ligeras, se conserva mejor el microclima y son particularmente importantes cuando se trata de especies propensas a emitir brotes epicórmicos y el arbolado es bajo: un caso típico en este sentido son los robledales y rebollares en los que se desea hacer claras antes de llegar a la fase de fustal. Unas calles más estrechas se asocian a un menor rendimiento de la maquinaria y a que esta no puede trabajar (o es peligroso hacerlo) con pies de gran tamaño, pero también hay otros inconvenientes derivados de la necesidad de juntar más las calles, porque máquinas más pequeñas tienen menor radio de trabajo. Con carácter general es preferible efectuar un diseño definitivo de las calles, lo que implica hacerlo para la maquinaria más difundida, pero puede haber excepciones que justifiquen diseños especiales. Existe la opción de diseñar una red igual a la definitiva pero con calles más estrechas, con los inconvenientes de tener que cortar posteriormente los árboles de borde de calle y de que o se dejan zonas sin tratar o se incrementa mucho el coste.

La escasa implementación de las redes de desembosque permanentes en España se ha visto reflejado en el resultado de las búsquedas bibliográficas. Si bien la literatura citada en el presente trabajo, y los ejemplos descritos, reflejan una clara ventaja respecto a otros sistemas de desembosque, se necesita documentar este tipo de trabajos para así generar el corpus teórico de esta metodología. Los trabajos futuros deberán encaminarse por un lado hacia la elaboración de guías prácticas y por otro a la corroboración científica de los beneficios de las redes de desembosque permanente.



6. Conclusiones

La compartimentación del bosque por vías permanentes que permitan acceder a los lugares de actuación es esencial si se pretende gestionar los bosques con un plan y un diseño de futuro, y no mediante intervenciones sin continuidad temporal y faltas de engarce en una línea de trabajo que persiga objetivos a medio y largo plazo. El acierto en el diseño y ejecución de la red de desembosque es clave para facilitar una gestión de calidad y con opciones de durabilidad, pero en España apenas se ha efectuado un trabajo técnico en este sentido, dejando la responsabilidad de tan relevantes actuaciones en los operarios encargados de los trabajos. Urge capacitar a los profesionales forestales para llevar a cabo la tarea de establecer una red de desembosque permanente en muchos montes que todavía carecen de ella. Para lograrlo es importante aprender de la dilatada experiencia en otros países de Europa occidental donde este es un asunto de la máxima relevancia en la gestión forestal y sobre el que se ha desarrollado una considerable bibliografía, en especial en lo relativo al impacto edáfico de la maquinaria. Es necesaria una adaptación a las peculiaridades locales, trabajar de manera que se optimice la consecución de los objetivos en la explotación, se mejore la comodidad y seguridad para los trabajadores, y todo ello con el máximo respeto al suelo y a la vegetación que deba permanecer.

Es importante no dar por cierto que por el hecho de que en el pasado en una masa se hayan efectuado aprovechamientos ya tiene una red de desembosque adecuada. Antes era muy frecuente que se dejase un considerable margen de libertad para que la maquinaria pudiese acceder por donde mejor le pareciera al operario. Esto se observa en la mayoría de las masas espontáneas con gestión selvícola antigua; no tanto en las repoblaciones, donde al no existir esos aprovechamientos previos, normalmente efectuados con arrastrador, se asume con mayor naturalidad la necesidad de establecer una red de calles permanente. Tal y como se ha mostrado en un ejemplo, la antigua red puede ser ineficaz y conviene efectuar cambios en ella, normalmente utilizando parte de la antigua red en lo que sea adecuada.

7. Bibliografía

- ASHTON, M. S. y M. J. KELTY; 2018. The practice of silviculture: applied forest ecology, John Wiley & Sons.
- BARTOLI, M., A. BRÊTHES, E. CACOT, J. L. CHAGNON, X. GAUQUELIN, M. NICOLAS, D. PISCHEDDA y C. RICHATER; 2009. Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt. PROSOL. Paris Cedex, FCBA Institute Technologique. Office national des Forêts.
- BIENZ, R. y A. FREULER; 2022. Mit LiDAR auf der Suche nach Rückegassen im Wald. *Wald Holz* **104**(6): 20-23.
- CAMBI, M., G. CERTINI, F. NERI y E. MARCHI; 2015. The impact of heavy traffic on forest soils: A review. *Forest ecology and management* **338**: 124-138.
- CANGA, E., A. ARIAS-GONZÁLEZ, J. MAJADA y N. GARTZIA-BENGOETXEA; 2018. Efectos del desembosque de madera en las propiedades hidrológicas del suelo en



- una clara en el Norte de España. VIII Congreso Ibérico de las Ciencias del Suelo CICS2018. Donostia:572-575.
- CHAMEN, T., L. ALAKUKKU, S. PIRES, C. SOMMER, G. SPOOR, F. TIJINK y P. WEISSKOPF; 2003. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 2. Equipment and field practices. *Soil and tillage research* **73**(1-2): 161-174.
- CONTRERAS, M. A., D. L. PARROTT y W. CHUNG; 2016. Designing skid-trail networks to reduce skidding cost and soil disturbance for ground-based timber harvesting operations. *Forest Science* **62**(1): 48-58.
- DE PAUL, M.-A., M. BAILLY y C. HEYNINCK; 2009. Le cloisonnement d'exploitation, pour préserver les sols forestiers. Document informatif. Mesures concrètes pour la réduction des impacts de l'exploitation forestière. R. n. e. E. D. Direction générale opérationnelle Agriculture. Jambes, Service public de Wallonie:48.
- DE WARNAFFE, G. D. B.; 2023. Pour une gestion écologique des forêts: Récolter du bois dans une forêt vivante. Ments, France, Terre vivante.
- DOMINATI, E., M. PATTERSON y A. MACKAY; 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological economics* **69**(9): 1858-1868.
- FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT; 2003. Richtlinie der Landesforstverwaltung Baden- Württemberg zur Feinerschließung von Waldbeständen. Ministerium für Ernährung und ländlichen Raum Baden- Württemberg. Freiburg.
- GARLAND, J. J.; 1983. Designated skid trails minimize soil compaction.
- GARTZIA-BENGOETXEA, N., I. M. DE ARANO y A. ARIAS-GONZÁLEZ; 2021. Forest productivity and associated soil ecosystem services remain altered 15years after mechanized site preparation for reforestation with *Pinus radiata*. *Soil and Tillage Research* **213**: 105150.
- GUMUS, S. y Y. TURK; 2016. A new skid trail pattern design for farm tractors using linear programming and geographical information systems. *Forests* **7**(12): 306.
- HARTMANN, M., P. A. NIKLAUS, S. ZIMMERMANN, S. SCHMUTZ, J. KREMER, K. ABARENKOV, P. LÜSCHER, F. WIDMER y B. FREY; 2014. Resistance and resilience of the forest soil microbiome to logging-associated compaction. *The ISME journal* **8**(1): 226-244.
- HORN, R., J. VOSSBRINK y S. BECKER; 2004. Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. *Soil and Tillage Research* **79**(2): 207-219.
- KERR, G. y J. HAUFÉ; 2011. Thinning practice: a silvicultural guide. Forestry Commission. **1**:18.
- LABELLE, E. R., L. HANSSON, L. HÖGBOM, M. JOURGHOLAMI y A. LASCHI; 2022. Strategies to mitigate the effects of soil physical disturbances caused by forest machinery: A comprehensive review. *Current Forestry Reports* **8**(1): 20-37.
- LEWIN, F. y D. PEUCH; 2004. Qualifier le cheminement des porteurs pour réduire les impacts sur l'environnement grâce à la technologie GPS. *Informations - Foët.* **4**: 6.
- MCNABB, D., A. STARTSEV y H. NGUYEN; 2001. Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. *Soil Science Society of America Journal* **65**(4): 1238-1247.
- MOUREY, J.-M., PISCHEDDA, D. y L. LEFEBVRE; 2012. Les cloisonnements d'exploitation. Fiche technique - Sol. **7**:6.
- PICCHIO, R., F. LATTERINI, P. S. MEDERSKI, D. TOCCI, R. VENANZI, W. STEFANONI y L. PARI; 2020a. Applications of GIS-based software to improve the sustainability of a forwarding operation in central Italy. *Sustainability* **12**(14): 5716.



- PICCHIO, R., P. S. MEDERSKI y F. TAVANKAR; 2020b. How and how much, do harvesting activities affect forest soil, regeneration and stands? *Current forestry reports* **6(2)**: 115-128.
- PISCHEDDA, D., T. HELOU, S. AUGOYARD, P. BARON, E. CACOT, L. GUILLERAY, N. POUSSE, P. RUCH y E. ULRICH; 2017. Pratic'sols-Guide sur la praticabilité des parcelles forestières. *Office national des forêts et Fédération nationale des entrepreneurs des territoires*.
- POMMERENING, A.; 2023. Continuous cover forestry: theories, concepts, and implementation, John Wiley & Sons.
- POUSSE, N., O. MARCET, J. BLAS-LARROSA y S. SCHNEIDER; 2022. Les cloisonnements sylvicoles sur sols à engorgement temporaire: à quel degré de perturbation des sols et des peuplements s'attendre? *Rendez-vous Techniques de l'ONF(73)*: 16-21.
- QGIS.ORG; 2024. QGIS Geographic Information System, QGIS Association.
- RUCH, P., C. BERWICK, E. CACOT, D. FRANCOIS, J. GRENIER, D. LAMBRECQ, A. DE SAINT PALAIS y N. VERNET; 2022. PraticMécafeuillus. Guide des outils et organisations de chantiers pour optimiser la récolte mécanisée des feuillus. Champs-Sur-Marne, Institut technologique FCBA,:76.
- SANCHEZ, C.; 2017. Pro Silva Silviculture: Guidelines on Continuous Cover Forestry/Close to Nature Forestry Management Practices.
- SOMAN, H., A. R. KIZHA y B. E. ROTH; 2019. Impacts of silvicultural prescriptions and implementation of best management practices on timber harvesting costs. *International Journal of Forest Engineering* **30(1)**: 14-25.
- STÜCKELBERGER, J., H. R. HEINIMANN y W. CHUNG; 2007. Improved road network design models with the consideration of various link patterns and road design elements. *Canadian journal of forest research* **37(11)**: 2281-2298.
- VON WILPERT, K. y J. SCHÄFFER; 2006. Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. *European Journal of Forest Research* **125(2)**: 129-138.
- VOPĚNKA, P., J. KAŠPAR y R. MARUŠÁK; 2015. GIS tool for optimization of forest harvest-scheduling. *Computers and Electronics in Agriculture* **113**: 254-259.
- VOSSBRINK, J. y R. HORN; 2004. Modern forestry vehicles and their impact on soil physical properties. *European Journal of Forest Research* **123**: 259-267.
- WOOD, M., P. CARLING y A. MOFFAT; 2003. Reduced ground disturbance during mechanized forest harvesting on sensitive forest soils in the UK. *Forestry* **76(3)**: 345-361.