

CAPÍTULO 5

Condicionantes de los aprovechamientos madereros

Jesús Pemán García, Marcos Barrio Anta

1. Introducción

En todo proyecto las soluciones técnicas a adoptar dependen de unos factores propios del medio, donde va a desarrollarse la actuación, que limitan o condicionan la viabilidad técnica, económica o ambiental de la solución elegida. Entre estos factores, en los trabajos realizados en el ámbito forestal, se deben tener también presentes los sociales.

Aunque la lista de condicionantes puede ser muy elevada, y variar de un monte a otro, conviene que a la hora de diseñar y elegir las soluciones técnicas se reflexione y se caracterice, si se consideran relevantes, los siguientes condicionantes:

- Legales. Se deberá reflexionar y describir los posibles condicionantes legales que puedan imponer las normas sectoriales o los documentos de planificación existentes a la elección de alguna de las alternativas técnicas de las diferentes operaciones. Asimismo, se deberán describir con detalle las características referentes a la titularidad del monte, sus límites y servidumbres.
- Naturales. Se deberá reflexionar y describir, si se consideran relevantes, los factores físicos y bióticos que pueden influir en las decisiones del proyecto, es decir: el clima, la fisiografía, el suelo, la vegetación, la fauna, y los riesgos que se pueden producir en el medio. En este aspecto es especialmente relevante en los montes de invierno la existencia o no de bolsones de *Thaumetopoea pityocampa* por los problemas de alergias que puede ocasionar entre los trabajadores.
- Selvícolas. Se deberá reflexionar y describir, si se consideran relevantes, las características del modelo selvícola a aplicar: tipo de corta, intensidad de la corta, características de la masa forestal, estado sanitario, etc.
- Infraestructuras. Se deberá reflexionar y describir la red de infraestructuras existentes, así como las limitaciones que la misma plantea a la ejecución de las diferentes operaciones del proyecto.

- Económicos. Será necesario reflexionar y describir los tipos de productos que se pueden extraer del monte y la demanda que existe de ellos por la industria.
- Sociales. Será necesario describir el tipo de mano de obra disponible, su formación y la percepción social de lo que significa un aprovechamiento forestal, dado que pueden ser unos condicionantes muy relevantes a la hora de elegir la alternativa técnica más óptima.

2. Condicionantes legales

La titularidad, la estructura de las propiedades y las características de los propietarios forestales pueden influir de manera importante en los aprovechamientos madereros, llegando a condicionar su viabilidad y por tanto su ejecución.

2.1. Titularidad del monte

Atendiendo a su titularidad, los montes españoles se pueden clasificar en:

- **Públicos:** pertenecientes al Estado, Comunidades Autónomas, Diputaciones Provinciales, Ayuntamientos y Organismos o Empresas Públicas.
- **Privados:** propietarios individuales, Comunidad de Propietarios proindiviso, comunidades vecinales.

La titularidad del monte y/o la existencia de convenios o consorcios suscritos con la Administración Forestal condicionan la ejecución de los aprovechamientos forestales, desde de forma de enajenación de la madera, hasta las limitaciones al uso de determinados equipos o procedimientos.

La titularidad de los terrenos forestales arbolados en España está en su mayoría en manos privadas, representando esta un 71% de la superficie forestal del País (tabla 5.1). El 29% de la superficie restante es de titularidad pública, distribuyéndose esta entre las distintas administraciones, con un claro predominio de la Administración Local (excepción de Islas Baleares, Andalucía y Comunidad de Madrid), cuyas potestades de gestión son en la actualidad prácticamente nulas, al ser sus montes gestionados por las Comunidades Autónomas. No obstante, los porcentajes de titularidad de los montes arbolados varía bastante según la región, existiendo dos Comunidades donde la titularidad pública es claramente dominante (La Rioja con un 81%, Navarra con un 73% y Cantabria con un 66%) y en el otro extremo se sitúan otras tres comunidades donde la titularidad privada es la que prácticamente domina todo el territorio (Galicia con un 99% de titularidad privada, Islas Baleares con un 96% y Extremadura con un 92%) (tabla 5.1).

La titularidad del monte objeto de aprovechamiento maderero condiciona los procedimientos que se pueden o deben llevar a cabo para la enajenación de la madera en pie o en cargadero.

Así, en montes públicos o en aquellos privados consorciados o conveniados con la Administración Forestal, la venta de madera se suele llevar a cabo atendiendo a los procedimientos que establece la ley de Contratos del Sector Público (habitualmente las empresas concurren por procedimientos abiertos o restringidos) y la forma habitual de adjudicación es por subasta (ver capítulo 4).

En cambio, en el caso de montes privados, el propietario particular suele suscribir un acuerdo o contrato con aquel maderista o empresa que le ofrezca un mejor precio por la madera o unas condiciones más ventajosas para su monte. No obstante, la Administración Forestal ejerce tutela sobre los mismos ya que suele ser necesaria una autorización expresa de la corta en el caso de montes sin plan de gestión aprobado y una comunicación de esta en el caso de explotaciones en montes con plan de gestión (puede variar según Comunidades Autónomas).

Actualmente, la mayoría de las cortas de madera en España se llevan a cabo en montes de titularidad privada. Según las estadísticas forestales del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MTERD) en el último lustro de datos disponibles (2015-2019), el 84% de las cortas totales de madera en España (17,8 millones de m³ de media en este período) se han llevado a cabo en montes de titularidad privada. Además, las cortas de madera se encuentran muy focalizadas en varias Comunidades Autónomas y dentro de estas en varias especies muy productivas. Así, el 73% de las cortas totales en ese período se han concentrado en las cuatro comunidades del arco Cántabro-Atlántico (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco), representando solamente las cortas de Galicia el 52% de las cortas nacionales. Estos datos coinciden con la distribución y las cortas en 3 especies muy productivas (*Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster* y *Pinus radiata*). Las cortas en masas de estas especies supusieron el 79% de las cortas totales del período, representado solamente *Eucalyptus globulus* el 39% del total, que la convierte en la especie que más madera produce del país.

Tabla 5.1. Superficie forestal arbolada (ha) según titularidad de los montes en el año 2018 (Fuente: Avance del Anuario de Estadística 2019, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). MVMC: Montes Vecinales en Mano Común.

Comunidad Autónoma	Estado/ CC.AA	Entidades Locales	Privados o desconocido	MVMC	Total	%privado
Andalucía	474 439	364 943	2 129 200	496	2 969 078	72%
Aragón	77 211	657 398	843 381	-	1 577 990	53%
Canarias	10 119	57.393	69 101	317	136 930	51%
Cantabria*	157	138.587	71 923	-	210 667	34%
Castilla-La Mancha	169 944	549 712	2 019 941	-	2 739 597	74%
Castilla-León	63 923	1 101 903	1 816 492	-	2 982 318	61%
Cataluña	66 807	235 244	1 282 030	-	1 584 081	81%
Comunidad de Madrid	45 980	52 717	168 102	-	266 799	63%
Comunidad Foral de Navarra	33 662	285 553	117 864	-	437 079	27%
Comunidad Valenciana	63 292	186 599	504 568	-	754 459	67%

Comunidad Autónoma	Estado/ CC.AA	Entidades Locales	Privados o desconocido	MVMC	Total	%privado
Extremadura	37 310	116 836	1 829 988	-	1 984 134	92%
Galicia	6 029	7 858	1 089 951	312 112	1 415 950	99%
Islas Baleares	3 889	2 991	178 832	-	185 712	96%
La Rioja	11 815	130 874	34 137	-	176 826	19%
País Vasco	14 597	158 187	224 291	-	397 075	56%
Principado de Asturias	6 174	123 640	323 589	298	453 701	71%
Región de Murcia	54 338	63 422	190 460	-	308 220	62%
TOTAL	1 139 686	4 233 857	12 893 850	313 223	18 580 616	71%

* Datos corregidos según el Cuarto Inventario Forestal, Cantabria.

Algunos condicionantes que puede imponer la titularidad de la propiedad forestal al desarrollo de los aprovechamientos madereros en montes públicos son (Tolosana 2016):

- Existencia de diversidad de procedimientos de adjudicación de aprovechamientos madereros en montes de Entidades Locales, Juntas, Comunidades Vecinales, etc.). Es un problema bastante generalizado en la mayoría de las Comunidades Autónomas y tiene como origen la ambigüedad entre normativas de diferente ámbito que pueden regir las adjudicaciones de montes de propiedad municipal (Ley de Contratos del Sector Público, Ley de Montes, Ley de Patrimonio de las Administraciones Públicas, Reglamento de Bienes de las Entidades Locales y otra normativa autonómica). De esta forma, numerosas Entidades Locales optan por cambiar las subastas y otros procedimientos públicos tradicionales, considerados más transparentes, por procedimientos negociados o por invitación, rigiéndose también en ocasiones por procedimientos consuetudinarios diversos.
- Falta de recursos materiales y personales para la gestión forestal en general, lo que retrasa las actuaciones necesarias para poner en marcha los aprovechamientos madereros.
- Bajo nivel de planificación de la gestión en montes públicos en algunas Comunidades (p.ej., Aragón).

En el caso de los montes privados, la falta de recursos para la gestión forestal en las Administraciones Forestales también es un problema, por su labor de tutela, al retrasar o condicionar los trámites para llevar a cabo los aprovechamientos madereros, además se citan (Tolosana 2016):

- Ausencia de directrices simplificadas de gestión para su aplicación en montes pequeños, especialmente particulares, que sirvan de base a Planes de Gestión simplificados o que sirvan de referentes selvícolas por adhesión, en que el propietario o gestor pueda acreditar gestionar el monte bajo un instrumento de gestión por el procedimiento de aceptar un itinerario simplificado de buenas prácticas de gestión forestal. Este procedimiento, que ha sido implantado en varias CC.AA. (p.ej., Asturias y Galicia), se encuentra paralizado en otras. Realmente no es un problema intrínseco de la titularidad privada sino de la Administración Forestal que tutela

las cortas de madera. Sin embargo, dada su relevancia, se he incluido como un problema de la “titularidad privada de montes arbolados”.

2.2. Estructura de la propiedad y características del propietario

La estructura de la propiedad forestal es un factor importante que condiciona distintos aspectos de los aprovechamientos madereros incluida su propia viabilidad. Esta se refiere a características físicas de la propiedad como su tamaño, el número de parcelas en las que se reparte, la forma de estas, la existencia de servidumbres y/o ocupaciones o su delimitación. Normalmente la estructura de la propiedad y las características de los propietarios deben referirse a cada tipología de propietario.

Dentro de los parámetros estructurales de la propiedad forestal, el tamaño es el factor que juega un papel más importante a la hora de determinar la rentabilidad de los aprovechamientos madereros y el beneficio neto que le puede quedar a un propietario forestal. Obviamente, cuanto mayor tamaño presenta una finca (a igualdad de volumen de corta por hectárea), mayor es el margen de beneficio que puede generar. Una finca de superficie grande permite ahorrar con relación a los costes fijos del aprovechamiento, y el resultado es un porcentaje del coste total inferior al caso de pequeñas extensiones. Los mejores rendimientos que se obtiene en estas fincas permiten obtener más beneficios y amortizar más fácilmente inversiones como la apertura de pistas (Rodríguez et al, 2005). Esto es debido, en ausencia de otras restricciones, a que condiciona las posibilidades de mecanizar la explotación y por tanto condiciona la elección del sistema de aprovechamiento a usar. Así, Romero y Arosa (1995), en un análisis económico de la producción forestal en Galicia, encontraron que la superficie del monte era el tercer factor más importante para determinar el beneficio de una explotación tras la especie que poblaba el monte y el volumen de corta por hectárea.

2.2.1. Montes de titularidad pública

Los montes de titularidad pública en España se caracterizan por ser montes cuyas superficies medias abarcan habitualmente varios cientos de hectáreas. Así, según Abreu (1995) esta superficie media sería de 485 ha (Montes del Estado o CC.AA.), de 293 ha (Montes Consorciados), 606 ha (Montes de U.P. no Consorciados) y 152 ha para montes patrimoniales de Entidades Locales. Se trata de montes de un tamaño considerable para la realidad de la propiedad forestal española, y aunque la madera que llega a corta suele ofrecerse en lotes de bastante menor superficie, la superficie no suele suponer una restricción para la ejecución de un aprovechamiento o para decidir el uso de sistemas mecanizados (figura 5.1).

Sin embargo, este tipo de propiedades suele presentar otros problemas estructurales que condicionan su gestión o el aprovechamiento maderero. Así, un gran número de ellos presentan:

- Un elevado número de ocupaciones.

- Numerosas servidumbres de pastos o leñas a favor de pueblos colindantes.
- Problemas de delimitación de la propiedad (terrenos de doble titularidad, indefinición de linderos...).



Figura 5.1. Ejemplo de montes públicos en el norte de la provincia de Zamora. Se trata de montes de varias decenas de hectáreas, plantados de pino, y propiedad de ayuntamientos o pedanías, que son gestionados bajo consorcios o convenios por la Administración Forestal Castellano-Leonesa (Fuente: SigPac).

2.2.2. Montes de titularidad privada

El 71% de la propiedad forestal arbolada española es privada, pero a pesar de su importancia a nivel superficial, esta se articula en la mayoría de los casos en estructuras minifundistas y muy atomizadas debido a que la propiedad se distribuye en numerosas parcelas no contiguas. Aunque no existen datos actualizados a nivel nacional, Abreu (1995) cifraba en 2,5 ha la superficie media de la propiedad particular a nivel estatal, aunque suele estar repartida en numerosas parcelas dispersas, por lo que la superficie de la parcela forestal es bastante inferior. Se trata de un problema que afecta principalmente a las Comunidades del arco Cántabro-Atlántico, aunque también afecta a otras Comunidades como Castilla-León, Aragón y Cataluña (Tolosana 2016). El ejemplo de Galicia, que corta el 52% de la madera de España, es muy representativo y un buen ejemplo por la magnitud tan grande del problema. Así, en esta Comunidad Autónoma, el 64% de la propiedad forestal es privada individual y el tamaño medio de la propiedad es de 1,7 ha que además se distribuye entre una y diez parcelas no contiguas, lo que arroja una superficie media de la parcela forestal de 0,26 ha (Xunta de Galicia 2018).

Desde el punto de vista del aprovechamiento maderero este minifundismo y atomización de las propiedades causa un grave problema que impide su gestión y explotación racional. Ello es debido a que las explotaciones deben tener unas superficies superiores a determinados “mínimos técnicos o de rentabilidad” por debajo de los cuales resulta inviable la aplicación de las

técnicas selvícolas o de aprovechamiento por no ser rentables económicamente (figura 5.2). Concretamente, esta microparcelación impide el empleo de sistemas mecanizados, por falta de rentabilidad debido a la alta repercusión de los costes fijos, e impone el uso de sistemas de explotación manuales. La influencia de este minifundismo encarece no sólo el aprovechamiento maderero propiamente dicho, sino también el transporte, al aumentar la posibilidad de cargas incompletas en los camiones (Laina et al. 2017).



Figura 5.2. Detalle del minifundismo de las parcelas plantadas con eucalipto en el distrito forestal de la Mariña Lucense (Galicia), donde se aprecia la disposición de las parcelas forestales en fajas muy estrechas en el sentido de la pendiente de la ladera, desde la cima al valle (Fuente: SigPac).

El efecto determinante del tamaño de los lotes de madera en los costes de explotación fue ilustrado, para explotaciones de montes de eucalipto en Galicia, de una forma muy clara por Villapol (1997): “partiendo del mismo precio de la madera en parque de fábrica, descontando los costes hacia el monte, resulta que para una tonelada de madera procedente de una corta de 20 t el valor residual que le quedaría al propietario por la venta de la madera en pie sería del 19% del valor de la madera en fábrica. Sin embargo, para una corta de 10 000 t este valor subiría hasta el 54%”.

Además, en numerosas ocasiones los límites y cabidas de estas microparcelas son confusos y no están apoyadas en información cartográfica, por lo que es frecuente la paralización de la explotación de lotes de madera por problemas de titularidad o deslinde entre propietarios (Ambrosio et al. 2001). De hecho, este es otro de los graves problemas derivados del minifundismo y atomización de la propiedad forestal: el desconocimiento de lindes y propietarios. Esto unido al despoblamiento y envejecimiento del mundo rural da lugar al abandono de muchos montes, al menos en las zonas menos productivas.

La combinación de la forma y el tamaño de las parcelas a explotar también puede provocar importantes restricciones. Así, en todo el arco Cántabro-Atlántico, es muy frecuente que las parcelas procedan de divisiones de herencias en fajas en el sentido de la pendiente desde la cima

al valle por lo que cuando se explota una sola de estas parcelas (algunas veces “tiras” de unos pocos metros de anchura), el tractor autocargador ha de trabajar por la línea de máxima para no invadir propiedades colindantes para hacer el desembosque (pendiente menor del 30-40% en la que el tractor puede circular por el monte), generando problemas añadidos (Ambrosio et al. 2001). También este tipo de microparcelas dispuestas en máxima pendiente dificultan enormemente la apertura de las pistas en zonas empinadas (>30-40% en las que los tractores forestales no pueden circular por el monte) para mecanizar el procesado y el apilado de la madera en las plantaciones de eucalipto (figura 5.3) (ver Caso práctico I para más detalles).



Figura 5.3. La combinación de parcelas pequeñas y alargadas en terrenos en pendiente dificulta mucho la apertura de pistas para poder mecanizar el procesado y apilado de la madera con cosechadora forestal desde pista, tras un apeo manual con motosierra (Fuente: SigPac).

Los maderistas, para tratar de paliar esta situación, deben comprar lotes de varias parcelas contiguas o próximas para que le sea rentable y posible la explotación; contando, aun así, con muchos problemas a la hora de definir las rutas o caminos de desembosque, ya que deben pedir autorización a los propietarios de las fincas colindantes y buscar ubicaciones adecuadas para los cargaderos. Todo este panorama exige que estos rematantes o maderistas deban ser unos auténticos tratantes forestales con un amplio conocimiento del entorno en el que se mueven y de sus gentes y su idiosincrasia (sociología rural).

Las Administraciones y las asociaciones forestales y/o de propietarios están impulsando soluciones como la concentración parcelaria o la creación de agrupaciones o cooperativas de propietarios forestales. Las agrupaciones de propietarios se fomentan activamente en Castilla y León y en Cataluña. En esta última Comunidad, ya desde hace más de 20 años, existe un organismo autónomo dentro de la administración, el Centre de la Propietat Forestal, dedicado al apoyo y

asesoramiento a los propietarios forestales particulares. Por otro lado, la Diputació de Barcelona comenzó a finales de la década de los 90 del siglo pasado el fomento al asociacionismo forestal, que hoy en día se ha extendido al resto de las provincias catalanas y ha permitido constituir la Federación Catalana de Asociaciones de Propietarios Forestales (BOSCAT). Algunas asociaciones de propietarios han impulsado puntualmente iniciativas de agrupación y comercialización en común, especialmente en los casos de eucalipto en Galicia y chopo en Castilla y León (Tolosana 2016). También en Asturias y en Galicia en los últimos años se aceleran las concentraciones parcelarias y se fomenta el asociacionismo. En Galicia y Asturias, donde el problema es más acuciante hay numerosos ejemplos de éxito. Así, en Trabada (Lugo) hace más de dos décadas se llevó a cabo una actuación experimental que supuso la puesta en marcha de tres concentraciones parcelarias privadas y una pública que lograron concentrar más de 11 000 propiedades en unas 800 fincas, pasando la superficie media de menos de 0,1 ha a más de 2 ha (20 veces más superficie) para aprovechar sinergias y reducir costes al poder compartir servicios como la corta de la madera de las fincas. A pesar del éxito de la concentración, que supuso la creación de una Sociedad Agraria de Transformación (SAT); sus particularidades, con una implicación muy alta de un conocido empresario forestal gallego y el altísimo esfuerzo y la complejidad que supuso tal logro, han motivado que este modelo de gestión no se haya replicado en otras zonas. También, la administración forestal gallega ha tratado de corregir esta situación con la promoción desde 2012 de las Sociedades de Fomento Forestal (Sofor), instrumentos que permiten la agrupación de propietarios forestales para hacer un aprovechamiento conjunto de sus tierras.

Existen además ciertas características de los propietarios privados de montes que pueden dificultar las operaciones madereras y que son generalizables a la totalidad del país:

- Una proporción importante son personas de avanzada edad.
- No viven del monte y este sólo aporta un ingreso adicional o complementario a la unidad familiar.
- Carecen de formación y/o tradición forestal.
- Una parte importante de los titulares están ausentes debido a la emigración hacia las ciudades.

La situación es bastante distinta en los montes privados colectivos (montes vecinales en mano común) que abundan en Galicia, donde representan el 22% de la superficie forestal arbolada. La superficie media de estos montes es de unas 224 ha y no tienen problemas de estructura de la propiedad que dificulten las explotaciones madereras. Además, el 40% de esta superficie forestal (unas 254 000 ha) es gestionada directamente por la Administración mediante suscripción de consorcios o convenios con las comunidades de monte (Xunta de Galicia 2018), con lo que la enajenación de la madera se hace de acuerdo con la Ley de Contratos del Sector Público.

3. Condicionantes naturales

3.1. El clima

Las condiciones ambientales en donde se realiza el aprovechamiento influyen de forma muy diversa en las distintas operaciones del mismo, reduciendo los rendimientos de los obreros y de las máquinas o dificultando la realización de los diferentes trabajos. Entre estos condicionantes cabe hacer referencia a la temperatura, la lluvia, la nieve o el viento.

Las altas y bajas temperaturas pueden inducir en los trabajadores problemas de estrés térmico que deben controlarse para evitar riesgos para los mismos, valorando la sensación térmica en función de la temperatura, la humedad relativa y el viento (Centro Prevención Riesgos Laborales 2007). Asimismo, estas condiciones influyen en la maquinaria reduciendo sus rendimientos e influyendo sobre las transmisiones hidráulicas y mecánicas. No obstante, no limitarán el desarrollo de una técnica u otra, aunque condicionarán, eso sí, la época de ejecución de las mismas.

Quizás el factor más afectado por las condiciones climáticas puede ser el suelo que, a su vez, tendrá según sus características de humedad, textura o contenido en materia orgánica, una gran influencia sobre las operaciones a realizar al influir en el grado de adherencia y en la capacidad portante. Con relación al suelo, las bajas temperaturas aumentan la capacidad portante y disminuyen el coeficiente de rozamiento. Si el suelo está húmedo, las heladas provocarán la rotura de la superficie. Para buscar más adherencia deberá valorarse la utilización del sistema de rodadura más adecuado. En el caso de la existencia de nieve, su capacidad portante aumentará con la dureza de la capa de nieve. Si el suelo nevado no está compacto, la nieve se convertirá en un gran condicionante por el exceso de humedad de la superficie del mismo. Por otro lado, la lluvia cambia las características de resistencia al esfuerzo cortante según su granulometría. En texturas finas, una cierta humedad aumenta la cohesión del suelo, pero en exceso disminuye la misma.

Estos condicionantes de carácter climático justifican que en las zonas de montaña a los montes se les clasifique como montes de verano o montes de invierno, según la época en la que se pueden realizar los trabajos.

Por otro lado, el viento también influye, sobre todo en la fase del apeo, por el riesgo que supone controlar la dirección real de caída del árbol. Como criterio general debe evitarse cortar los días en los que la velocidad del viento supere los 50 km h⁻¹.

3.2. La fisiografía

La pendiente es un factor clave que influye en las operaciones de apeo y, sobre todo, en el desembosque (figura 5.4). No obstante, hay que tener en cuenta que la influencia de la pendiente está modulada por otros factores como la adherencia del suelo, la presencia de afloramientos

rocosos u otros obstáculos que limitan la adherencia. Para las operaciones de apeo, la pendiente es un factor limitante en el caso de que se haga de forma mecanizada (tabla 5.2).

Tabla 5.2. Criterios de pendiente para el apeo.

Tipo de apeo	Chasis	Pendiente del terreno (%)	
		Máxima	Óptima
Manual		60	< 30
Cosechadora	Ruedas	35	20-25
	Orugas	40	
Cabezal cortador	Retroaraña	100	
	Retroexcavadora	60	

En el desembosque, pendientes inferiores al 15% no limitan ninguna técnica, mientras que pendientes superiores al 60% reducen las técnicas al cable grúa. Entre estos intervalos de pendiente se encuentran los recomendados para las distintas máquinas. Además de la pendiente, un factor a tener en cuenta en la mecanización de los trabajos es la escabrosidad o dificultad del terreno. La escabrosidad, en este contexto, hace referencia a los obstáculos existentes en la superficie que limitan el movimiento de las máquinas. Sundberg y Silversides (1989) consideran dos niveles de escabrosidad:

- Alta. Existencia de rocas u obstáculos de altura superior a 50 cm, separados una distancia inferior a 3 m.
- Baja. Cuando la distancia es mayor de 3 m.

El Servicio Forestal irlandés (IFS) considera tres clases de escabrosidad y el *Nordic Council on Forest Operations Research* (NSR) cinco (tabla 5.3).

Tabla 5.3. Clases de escabrosidad del terreno (Owende et al. 2002).

Clase NSR	Clase IFS	Altura obstáculo (mm)	Casos permitidos	Altura entre obstáculos (cm)			
				20	40	60	80
				Distancia media entre obstáculos (m)			
1	Regular	200	A	1,6-5			
			B	5-16		>16	
2	Regular	200-400	A	< 1,6		>16	
			B	1,6-5	5-16	>16	>16
3	Irregular	400-600	A	< 1,6	1,6-5	5-16	>16
			B	<1,6	1,6-5	5-16	>16

Clase NSR	Clase IFS	Altura obstáculo (mm)	Casos permitidos	Altura entre obstáculos (cm)			
				20	40	60	80
				Distancia media entre obstáculos (m)			
4	Irregular	400-800	A	< 1,6	< 1,6	5-16	>16
			B		1,6-5		5-16
5	Escabroso	400-800	A	<1,6		1,6-5	5-16
			...l		<1,6		



Figura 5.4. Procesadora John Deere 1270E trabajando en pendientes superiores al 30% y superando taludes de pista (superior) y autocargador John Deere 1910E en pendientes superiores al 30% (inferior) (Fotos: J. Pemán).

3.3. El suelo

El suelo uno de los elementos del medio que se pueden ver más afectados por las diferentes operaciones del aprovechamiento maderero, sobre todo en lo que hace referencia a las operaciones de desembosque, al condicionar el movimiento de las máquinas y el arrastre de la madera. El movimiento de las máquinas se verá condicionado por algunas de las características mecánicas del suelo como son el grado de adherencia y la capacidad portante o de carga (Maza de la 1970) que determinarán, en mayor o menor grado, el nivel de desgarramiento o rotura del suelo, su compac-

tación y la formación de rodadas o surcos de arrastre. Estas características pueden condicionar la elección del tipo de tractor, de su tren de rodadura, del tipo de neumático, de la presión de inflado de las ruedas, del modo de desembosque o de la densidad de pistas de desembosque (ver anejo 1). A la hora de planificar el aprovechamiento, por tanto, habrá que valorar el riesgo de: 1) Compacción, 2) Formación de rodadas o roderas. Para ello se debe conocer algunas características del suelo en relación con el tránsito de las máquinas por el mismo, como es la capacidad portante o la adherencia y algunas características de las máquinas, como es la presión que ejercen sobre el suelo.

1. Capacidad portante. La capacidad portante del suelo se entiende como su resistencia a la cuando está sometido a cargas. En este contexto las cargas a las que estará sometido son debidas al peso y al trabajo de las máquinas que intervienen en las operaciones de corta y desembosque. Las características del suelo que más influyen en esta capacidad son la textura, la pedregosidad y su contenido en humedad (tabla 5.4).

Tabla 5.4. Capacidad portante de diferentes tipos de terreno (Maza de la 1970; Bartoli et al. 2009).

Capacidad portante (kPa)	
Terrenos pantanosos	10 a 40
Arcilla húmeda	50 a 150
Arcilla seca	400 a 1 200
Arena seca	200
Arena húmeda	400
Grava gruesa	200 a 600
Limos húmedos	20 a 60
Roca fragmentada	500
Roca compacta	12 500
Nieve compacta	400 a 800

Owende et al (2002) consideran que un terreno tiene una baja capacidad portante cuando es inferior a 40 kPa, media, cuando oscila entre 40 y 80 kPa y alta cuando supera los 80 kPa.

Aunque la capacidad portante del suelo es un indicador muy aceptado, sin embargo, no hay un consenso sobre como valorarla, utilizándose el índice de cono, el esfuerzo cortante o los módulos de deformación (tabla5.5).

Tabla. 5.5. Categorías de la Capacidad portante del suelo en función de dos parámetros del suelo (Owende et al. 2002)⁽¹⁾: Valor máximo en los 30 cm superficiales del perfil del suelo).

Capacidad portante suelo (GBC)	Índice de cono (kPa) ¹	Módulo de deformación	Esfuerzo cortante (kPa)
Baja	<300	< 20	<20
Media	300-500	20-60	20-60
Alta	>500	>60	>60

La presión que ejercen las máquinas de apeo y desembosque sobre el suelo es muy variable, dependiendo de las condiciones del terreno, la anchura del neumático, el tipo de banda de rodadura, la presión de inflado, si los ejes de las ruedas llevan **tracks** o no, etc. (ver anejo 1). No obstante, se pueden dar unos valores orientativos (tabla 5.6.). Sirva de referencia que una persona con botas apoyándose con los dos pies en el suelo ejerce una presión de 17 kPa y, de 35 kPa, si se apoya con un pie.

Tabla 5.6. Valores orientativos de la presión sobre el suelo de diferentes tipos de máquinas (Owende et al. 2002).

Máquina	Número de ejes de ruedas	Ancho neumático (mm)	Tracks	Presión nominal (kPa)
Procesadora	2	500 a 800	No	>80
	3	500 a 800	No	50 a 70
	4	600	No	45 a 60
	Orugas			< 30
Autocargadores	2		No	80 a 100
	3		No	70 a 80
			Ejes traseros	50 a 60
	4		No	50 a 60
			Ejes traseros y delanteros	40 a 50
Skidder				70

El cociente entre la capacidad portante del suelo, estimado a partir del índice de cono, y la presión nominal que ejerce la máquina sobre el mismo, puede ser un buen indicador para determinar los límites de la mecanización forestal. Si el umbral de deformación admitido es la formación de unas rodadas de 100 mm de profundidad y una longitud de 0,5 m, el valor de este cociente no debe ser inferior a 5 (Owende et al. 2002).

2. Adherencia. Tradicionalmente se entiende por tal, la resistencia al deslizamiento o patinamiento que presentan dos superficies entre sí. En el caso de la interacción suelo-máquina la adherencia hace referencia a la capacidad de la máquina de autopropulsarse y ejercer el esfuerzo de tracción necesario para su movimiento y el transporte de la carga. En este sentido, si F_t es la fuerza de tracción y F_a la fuerza de adherencia, para que se produzca el desplazamiento de la máquina se debe cumplir la desigualdad: $F_t \leq F_a$.

El patinamiento de las ruedas motrices sobre el suelo se justifica cuando la fuerza de tracción ejercida por ellas supera la fuerza de rotura por cizallamiento del suelo (Boto et al. 2000). Esta rotura implica vencer las fuerzas de cohesión entre las partículas del suelo y las fuerzas derivadas del rozamiento entre las partículas cuando estas han quedado sueltas,

que dependerá del coeficiente de rozamiento interno entre ellas y de la carga que soportan (Boto et al. 2000; Márquez 2004).

La fuerza de adherencia representa, por tanto, la resistencia al deslizamiento que presentan la máquina sobre el suelo, representado por la carga vertical que soporta el suelo (peso adherente, es decir, peso más carga) multiplicado por un coeficiente de adherencia (C_a) (tabla 5.7). Es decir, $F_a = \text{Peso}_{\text{adherente}} C_a$.

Tabla 5.7. Coeficiente de adherencia (kg t^{-1}) en función del tipo de suelo, su humedad y el tren de rodaje (Mégille 1956).

Tipo de suelo	Estado	Neumáticos	Cadenas u orugas
Arcilloso	Seco	550	580
	Húmedo	450	460
Arcilloso-arenoso	Seco	350	560
	Húmedo	200	420
Humus	Seco	350	560
	Húmedo	150	290
Arena	Seco	350	320
Grava		360	
Hielo		120	120
Nieve compacta		200	
Roca	Seco	500	200
	Húmedo	200	150

Aumentar la adherencia se puede conseguir:

- Aumentando el coeficiente de adherencia, como puede ser mediante el aporte de los residuos de corta a las calles de desembosque, el uso de cadenas o el uso de **tracks**, el uso de neumáticos extraanchos o disminuyendo la presión de inflado.
- Aumentando el peso adherente, sobre todo en el caso de los suelos más arenosos, para aumentar la fuerza debido al rozamiento entre las partículas. Utilización de máquinas más pesadas o mediante el lastrado de los tractores.

Existe cierto consenso sobre los factores del relieve y del suelo que influyen en la mecanización de los trabajos. En este sentido, las condiciones del suelo, expresadas a través de la capacidad portante, la pendiente y la escabrosidad del terreno son factores que se han revelado decisivos y, por tanto, verdaderos condicionantes para las operaciones de apeo y desembosque. Entre las clasificaciones existentes se pueden referir las de Sundberg y Silversides (1988) (tabla 5.8), Collins et al. (2000) u Owende et al. (2002).

Tabla 5.8. Criterios de pendiente para el desembosque con maquinaria según la escabrosidad, adherencia del suelo y sentido del desembosque ¹: existencia de rocas u obstáculos en general de altura superior a 50 cm. Si la distancia entre estos obstáculos es inferior a 3 m se considera que la escabrosidad es alta al limitar la maniobrabilidad de la máquina; ²: sería viable si el chasis fuera una retroaraña). El fondo rojo indica que esa técnica no es apropiada, el verde que son condiciones óptimas y cuando no hay fondo que representan condiciones de utilización con dificultades). El valor en algunas de las celdas representa la pendiente (%). Modificado de Sundberg y Silversides (1988).

Pendiente (%)	Condicionantes			Procedimientos de desembosque					
	Escabrosidad ¹	Adherencia suelo	Sentido de la saca	Tracción animal	Tractor agrícola	Tractor cadenas	Autocargador	Skídder	Cabezal cortador
< 10	Baja	Buena	Indiferente	[Fondo Verde]					
		Mala		[Fondo Verde]					
	Alta	Buena	[Fondo Verde]			[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]
		Mala	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	
10 - 50	Baja	Buena	Ascendente	< 15	< 15	< 35	< 25	< 25	< 25
			Descendente	< 30	< 25	[Fondo Verde]	< 45	[Fondo Verde]	< 35
		Mala	Ascendente	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	< 25	[Fondo Verde]	< 20	< 20
			Descendente	< 30	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	< 45	[Fondo Verde]	< 35
	Alta	Buena	Ascendente	[Fondo Verde]	< 25	< 35	< 25	< 25	< 25
			Descendente	< 30	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	< 45	[Fondo Verde]	< 35
		Mala	Ascendente	[Fondo Verde]	< 25	< 25	[Fondo Verde]	< 20	< 20
			Descendente	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	< 45	[Fondo Verde]	< 35
> 50	Baja	Buena	Ascendente	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	²
			Descendente	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	<60	<60	<60	²
		Mala	Ascendente	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	²
			Descendente	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	< 60	< 60	[Fondo Verde]	²
	Alta	Buena	Ascendente	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	²
			Descendente	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	< 60	< 60	< 60	²
		Mala	Ascendente	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	[Fondo Verde]	²
			Descendente	[Fondo Verde]	-	< 60	< 60	[Fondo Verde]	²

Owende et al. (2002) han adaptado la clasificación de Collins et al. (2002) y han propuesto otra clasificación del terreno para las operaciones de desembosque. El terreno se clasifica con tres dígitos que corresponden a las diferentes categorías de condiciones de suelo, escabrosidad y pendiente (tabla 5.9).

Tabla 5.9. Clasificación del terreno, según las características del suelo, la escabrosidad y la pendiente ¹: según los valores de la tabla 5.5.; ²: según los valores de la tabla 5.3.) (Owende et al. 2002).

Condiciones de suelo ¹	Escabrosidad ²	Pendiente
(1): Buena	(1): Regular	(1): Suave, < 14%
(2): Media	(2): Irregular	(2): Intermedia, 14-25%
(3): Mala	(3): Escabroso	(3): Elevada, > 25%
(4): Muy mala		

A partir de esta clasificación estos autores recomiendan el tipo de procedimiento de desembosque a realizar (tabla 5.10).

Tabla 5.10. Recomendaciones de uso de los diferentes métodos de desembosque en función del estado del suelo, escabrosidad y pendiente (el primer código hace referencia a las condiciones del suelo, el segundo a la escabrosidad y el tercero a la pendiente) (Owende et al. 2002).

1.1.1	2.1.1	3.1.1	4.1.1
Tracción sangre, skidder, autocargador		Autocargador con tracks, cable	
1.1.2	2.1.2	3.1.2	4.1.2
Tracción sangre, skidder, autocargador		Autocargador, autocargador con tracks y cable	
1.1.3	2.1.3	3.1.3	4.1.3
Tracción sangre, skidder, autocargador		Cable	
1.2.1	2.2.1	3.2.1.	4.2.1
Tracción sangre, skidder, autocargador		Autocargador con tracks, cable	
1.2.2	2.2.2	3.2.2	4.2.2
Tracción sangre, autocargador	Autocargador, autocargador con tracks	Autocargador con tracks y cable	
1.2.3	2.2.3	3.2.3.	4.2.3
Autocargador con cadenas y cable		Cable	
1.3.1.	2.3.1.	3.3.1.	4.3.1.
Autocargador y cable		Autocargador con tracks y cable	
1.3.2.	2.3.2	3.3.2	4.3.2
Autocargador y cable	Autocargador, autocargador con tracks y cable	Cable	
1.3.3	2.3.3	3.3.3	4.3.3
Cable			

3.4. La vegetación

La vegetación forestal, referido al estrato arbustivo, puede condicionar las operaciones de apeo y desembosque. En el caso del apeo, si este se hace manual, habrá que valorar si es necesario desbrozar previamente para facilitar el acceso de los motosierristas, al igual que alrededor de los pies señalados, aunque esta última operación la suelen realizar ellos mismos. En las operaciones de desembosque, según el sistema de aprovechamiento elegido y la forma del desembosque, será necesario valorar la realización de un desbroce. Adquiere particular importancia en el caso de que el desembosque se haga con tracción animal.

3.5. La fauna

La presencia de una fauna singular, en el monte que va a ser objeto de aprovechamiento, puede ser un factor que condicione la época de disfrute y limite la superficie de actuación. La apertura de las vías de desembosque y la realización de las operaciones pueden ser factores claramente perturbadores para estas especies, adquiriendo especial importancia en las épocas de nidificación y cría.

Los pliegos de condiciones técnicas particulares determinan las épocas del disfrute, claramente condicionadas por la presencia de estas especies. A modo de ejemplo, se presentan las épocas más críticas para una serie de especies singulares (tabla 5.11). Estos períodos generales deben ajustarse según la fenología de la especie en cada caso particular.

Tabla 5.11. Épocas críticas para la realización de los aprovechamientos para determinadas especies singulares para los distintos meses del año (Fuente: ¹: (Rodríguez et al. 2005); ²: (Unidad Territorial Noroeste-Río Mula 2012).

Especie	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
Oso pardo (<i>Ursus arctos arctos</i>) ¹												
Urogallo (<i>Tetrao urogallus</i>) ¹												
Lechuza de Tengmalm (<i>Aegolius funereus</i>) ¹												
Pito negro (<i>Dryocopus martius</i>) ¹												
Buitre leonado (<i>Gyps fulvus</i>) ²												
Aguila culebrera (<i>Circaetus gallicus</i>) ²												
Milano negro (<i>Milvus migrans</i>) ²												
Azor común (<i>Accipiter gentilis</i>) ²												
Gavilán común (<i>Accipiter nisus</i>) ²												
Ratonero (<i>Buteo buteo</i>) ²												
Águila real (<i>Aquila chrysaetos</i>) ²												
Aguiluilla calzada (<i>Hieraaetus pennatus</i>) ²												
Águila perdicera (<i>Aquila fasciata</i>) ²												
Cernícalo vulgar (<i>Falco tinnunculus</i>) ²												
Alcotán (<i>Falco subbuteo</i>) ²												
Halcón peregrino (<i>Falco peregrinus</i>) ²												
Lechuza común (<i>Tyto alba</i>) ²												
Autillo (<i>Otus scops</i>) ²												
Búho real (<i>Bubo bubo</i>) ²												
Mochuelo europeo (<i>Athene noctua</i>) ²												
Cárabo común (<i>Strix aluco</i>) ²												
Búho chico (<i>Asio otus</i>) ²												

En Castilla La Mancha, con carácter general, se establece una época crítica entre el 1 de marzo al 31 de agosto, recomendando respetar una distancia de 700 m alrededor de los nidos de las especies que tienen un carácter singular y, en especial, las sometidas a un Plan de Recuperación (Gabaldón 2013).

En el caso de las aves de carácter singular, como el águila imperial (*Aquila adalberti*), en Castilla y León se han establecido unos perímetros de seguridad donde se limitan las actuaciones a realizar. Estos perímetros definen un área de gestión restringida, de radio de 100 m alrededor del nido ocupado, y un área de gestión condicionada, de radio de 400 m a partir del perímetro del área restringida, donde se condicionan las posibles actividades (tabla 5.12).

Tabla 5.12. Limitaciones a la gestión en zonas de nidificación del águila imperial (Aquila adalberti) en Castilla y León (Q: quincena)(Fuente: adaptado de Jiménez-Fernández et al. 2006).

	Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero							
	1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q						
Área gestión restringida (radio 100 m nido habitado)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
	Suspendida cualquier actuación (NA)																													
	Inventarios, señalamientos, reparaciones manuales												Cortas de tipo sanitario o forzoso																	
Área gestión condicionada (radio 400 m desde perímetro área restringida)	Suspendida cualquier actuación (NA)												Inventarios, señalamientos, reparaciones manuales						NA						Sin limitación					

3.6. Riesgos

3.6.1. Riesgos de degradación del suelo

Los riesgos de degradación del suelo por las operaciones ligadas a la extracción de los productos forestales del monte son: 1) Compactación y 2) Formación de roderas.

1. Compactación. Se produce en el suelo debido a la presión ejercida por las máquinas o por el arrastre de la madera. Se considera que el suelo se ha compactado, como consecuencia de los trabajos realizados, cuando el aumento de la densidad aparente supera el 15% de la densidad existente anteriormente a la realización de los mismos (Welke y Fyles 2006). Su intensidad depende del peso de la máquina, del sistema de rodadura de la misma, del área de contacto del vehículo con el suelo, de la presión de los neumáticos, de las fuerzas dinámicas de corte, de las características del suelo (textura, estructura y densidad aparente inicial), del contenido de materia orgánica del suelo, del contenido de humedad, de la pendiente del terreno, del tipo de corta, del número de ciclos de desembosque o de la experiencia de los maquinistas.

Atendiendo a los factores del suelo que influyen en la misma, la densidad aparente inicial es uno de los más relevantes. Suelos con densidades superiores a $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ son bastantes resistentes a la compactación, siendo más favorables los de baja densidad. Una vez que se ha compactado es ya bastante resistente a la misma. En algunos estudios se ha puesto en evidencia que con el primer ciclo de desembosque el grado de compactación producido es del 62% del total en los primeros 10 cm del suelo (Cambi et al. 2015). Se ha observado que el grado de compactación disminuye con la profundidad del suelo, con patrones de reducción como los que registrados por McNabb (2001), que después de tres ciclos con autocargador observó incrementos de la densidad aparente en un 10% a 5 cm de profundidad, un 7% a 10 cm y un 5% a 20 cm. Las consecuencias de la compactación sobre las propiedades físicas, químicas y bióticas del suelo son múltiples (tabla 5.13).

Tabla 5.13. Efectos sobre las propiedades del suelo del movimiento de los tractores en las operaciones de desembosque (Cambi et al. 2015).

Efecto sobre el suelo	Características
Disminución de la porosidad	La compactación puede conllevar disminuciones de hasta el 50-60% de la porosidad, consecuencia, sobre todo, de la disminución del volumen de macroporos, no apreciándose efecto alguno sobre el contenido de microporos, que en algunos casos pueden llegar a aumentar. No hay un efecto claro en cuanto a los cambios en la distribución del tamaño de los poros.
Disminución del contenido de macroporos	
Ligero aumento del contenido de microporos	
Ligero aumento de la capacidad de retención de agua	La compactación puede producir un ligero aumento, aunque ello no implica que el agua esté disponible para las plantas
Disminución de la permeabilidad y de la capacidad de infiltración	La compactación y la formación de roderas suele conllevar el encharcamiento del fondo de las mismas como consecuencia de la destrucción de la estructura del suelo. Cuando la infiltración disminuye y la pendiente es elevada se suelen producir fenómenos de escorrentía.
Aumento de la escorrentía	

Efecto sobre el suelo	Características
Disminución de la aireación y del contenido en oxígeno	
Aumento de la concentración de CO ₂	Consecuencia de la disminución de la difusividad gaseosa en el suelo. La compactación produce una disminución de la concentración de O ₂ y un aumento de la concentración de CO ₂
Disminución del crecimiento radical	La compactación conlleva un aumento de la resistencia a la penetración y cuando esta excede de 2,5 MPa, frecuente en las operaciones de aprovechamiento, se produce una reducción en el crecimiento radical.
Disminución del crecimiento del árbol	
Influencia desigual en la regeneración	
Efecto negativo sobre la biota del suelo	

Compaction on boreal forest soils

Welke S, Fyles J (2006) Compactation of boreal forest soils. SFM Network Research Note Series 17.

...soil compaction is generally defined in physical terms. An increase of more than 15% in the pre-harvest bulk density of the soil indicates compaction. It can be caused by as little as one skidder pass or only by after repeated passes. Compaction is most commonly associated with skid trails and landings, which together can represent a considerable portion of a cut block. This could translate into reduced overall site productivity. While compaction is readily definable, its effects are less so. Studies of the physical impacts of compaction on soil are numerous yet only a handful has investigated the effects of compaction on chemical and biological soil processes. A look at the current research shows that, while effects of compaction are somewhat varied and ecosystem specific, some generalizations are possible...The susceptibility of soil to compaction is clearly related to soil moisture. There is little doubt that saturated soils, regardless of texture, are more likely to be negatively affected by compaction compared to dry soils. There is also agreement that damage to soils and thus site productivity, is reduced or even negligible when harvesting occurs on soils below field capacity...Not only do soil texture and moisture affect the susceptibility of a soil to compaction but so do the type and intensity of use of machinery. For example, there were no negative effects on aspen growth on an unfrozen clay soil winter logged by chain saw and then cable winched. When an adjacent site on the same soil was logged with a feller buncher and grapple skidder, however, the disturbance was significant and reduced regenerating aspen growth. Yet the same equipment will be much less destructive in drier conditions. Wide-tired grapple skidders and forwarders did not seriously compact a fine-textured boreal soil when harvesting occurred under dry conditions. In another study, it was found that a Timberjack Harvester 1270 caused negligible impact on mites and collembolans although harvesting with a feller buncher significantly reduced their numbers, which could have consequences for the nutrient cycle and thus, site productivity.

Las medidas que tradicionalmente se han indicado para reducir este impacto son (Cambi et al. 2015) (figura 5.5):

- Dejar los residuos de corta sobre el suelo. En el caso del uso de procesadoras estos residuos se suelen dejar en las calles de desembosque. Como valores de referencia, algunos autores han recomendado una cantidad de restos de corta de 15-20 kg m⁻². Esta medida es especialmente interesante en los suelos con baja capacidad portante.
- Reducir, en la medida de lo posible, la presión sobre el suelo. Entre las diferentes alternativas existentes para conseguirlo están: i) Reducir la presión de inflado de los neumáticos, ii) Utilizar máquinas ligeras, iii) Utilizar neumáticos anchos. Existen referencias que indican que aumentar la anchura del neumático de 600 mm a 800 mm en un autocargador de 22 t, redujo a la mitad la profundidad de las rodadas, iv) Utilizar accesorios para aumentar la flotación como los *tracks* o semiorugas.
- Evitar la realización de los trabajos en las épocas que el suelo tenga un mayor contenido de humedad, planificándolos para la época en que la capacidad portante del suelo sea mayor (montes de verano *versus* montes de invierno).
- Planificar adecuadamente los trabajos, concentrando, en la medida de lo posible, la circulación de las máquinas por las calles de desembosque.



Figura 5.5. Residuos de corta colocados sobre la calle de desembosque (izquierda) y características de los tracks (derecha) (Fotos: J. Pemán).

2. Rodadas o roderas. Son el resultado de los desplazamientos verticales y horizontales del suelo hacia el medio o a los lados de las calles de desembosque producto de los esfuerzos cortantes y la compresión que soportan cuando tienen un elevado contenido de humedad (Horn et al. 1989) (figura 5.6).

La profundidad de las rodadas es variable según la estructura, la humedad y textura del suelo, la pendiente, el sentido de desplazamiento del tractor, el número de ciclos y la técnica de desembosque (Agherkakli et al. 2010; Removal y Formation 2015). Según el *Finnish Forestry Development Center* las rodadas que tienen consecuencias económicas y ecológicas son aquellas que exceden de 100 mm de profundidad y tienen una longitud mayor de

En el caso de *Tomicus* spp., para Aragón, se recomienda evitar la acumulación de madera recién cortada durante el periodo de colonización de adultos, que correspondería al periodo entre octubre y mayo para *T. destruens* y de abril a octubre para *T. piniperda* (Unidad Salud de los Bosques 2010).

3.6.3. Riesgos de incendios

El riesgo de incendio forestal puede ser un condicionante de primera magnitud para la realización de las operaciones de extracción de los productos madereros por la limitación que se suele imponer a la utilización de maquinaria en el monte.

Las limitaciones impuestas a la actividad forestal pueden establecerse según los conceptos de peligro o de riesgo. El concepto de peligro de incendios suele ser fijo y se determina espacial y temporalmente. En las zonas de peligro alto o extremo se pueden limitar la realización de determinadas actividades en el monte que impliquen el uso de maquinaria que pueda generar chispas, descargas eléctricas, etc.

El análisis del riesgo, por el contrario, se realiza de forma diaria y, según el nivel que se alcanza en el mismo, también puede limitar ciertas actividades en el monte, sobre todo al uso de la maquinaria como en el caso anterior.

Por tanto, a la hora de planificar temporalmente la realización de las operaciones hay que tener en cuenta, según cada CC.AA., estas posibles limitaciones (figura 5.8).

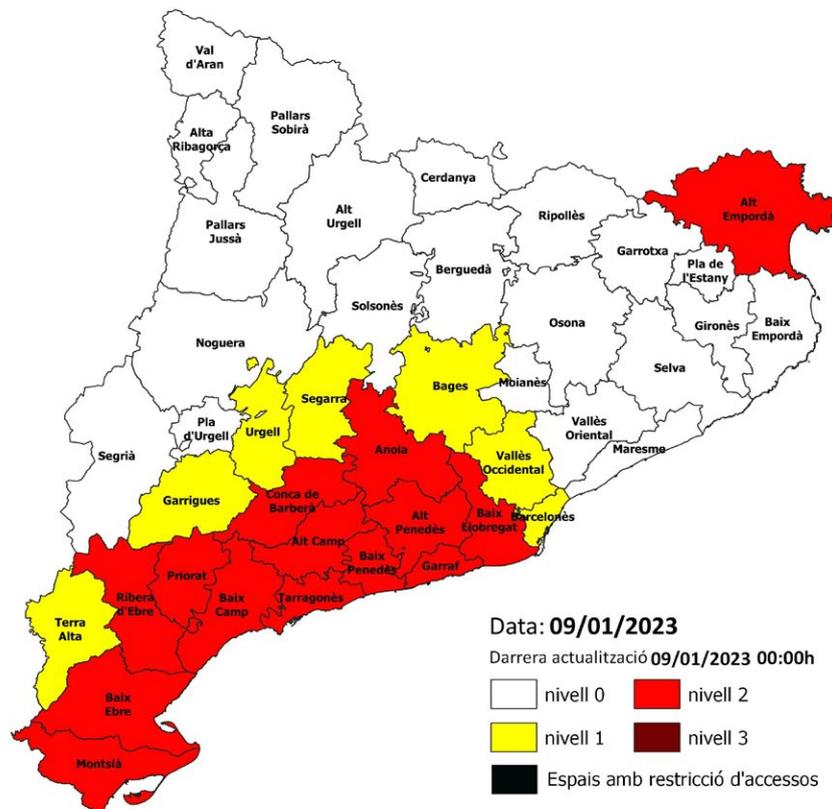
4. Condicionantes de las infraestructuras

Las características de las pistas de desembosque en cuanto a su anchura, separación, longitud y densidad dependerán de la técnica de apeo y desembosque (Rodríguez et al. 2005) (tabla 5.14).

Tabla 5.14. Separación y anchura de las pistas de desembosque según el tipo de corta el método de aprovechamiento y el tipo de desembosque mecanizado (Rodríguez et al. 2005).

	Corta mecanizada		Corta manual			
	Reunión cable	Skidder o tractor		Autocargador		
		Fuste entero	Reunión animal	Reunión manual	Reunión manual	Sin reunión
		Fuste entero	Madera corta	Madera corta	Fuste entero	
Separación (m)	15 a 24 (dos veces longitud pluma cosechadora)	40 a 50	40 a 50	15 a 30	15 a 30	15 a 24
Anchura (m)	3,5				4	

Mapa Pla Alfa



Més informació:

<https://interior.gencat.cat/plaalfa>

Elaborat per la Direcció General dels Agents Rurals a partir del mapa de perill d'incendi diari del Servei de Prevenició d'Incendis Forestals del Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural

Figura 5.8. Mapa diario de Riesgo de incendios elaborado por la Direcció General dels Agents Rurals en el contexto del Plan Alfa.

La longitud de las calles o pistas de desembosque determinará la distancia entre las pistas forestales y la densidad recomendable de las mismas (tabla 5.15).

En el caso de que el desembosque no precise la entrada de maquinaria en el interior del área de corta (ya que se realiza mediante arrastre por cable desde pie de pista, por animales o mediante cable aéreo), las características de las calles o pistas de desembosque son más reducidas, dependiendo del sistema de aprovechamiento. La anchura puede oscilar de 2,5 a 3,5 m y la longitud de las calles de 20 a 40 m para tractor agrícola y de 50 a 70 m para *skidder*. La densidad de calles será de 110 a 225 m ha⁻¹ para tractor agrícola y de 65 a 90 m ha⁻¹ para *skidder* (Rodríguez et al. 2005).

En el caso de realizar el desembosque mediante animales, la longitud óptima de las calles será de 100 a 150 m y la densidad óptima de pistas de desembosque de 100 m ha⁻¹ (Rodríguez et al. 2005)

Tabla 5.15. Longitud y densidad de las pistas de desembosque según el tipo de desembosque mecanizado (Rodríguez et al. 2005).

		Tractor agrícola	Skidder	Autocargador
Longitud (distancia máxima desembosque) (m)	Óptima	50 a 75	100 a 125	150 a 300
	Máxima	150 a 175	200 a 250	1 300 a 1 500
Densidad pistas, desembosque bidireccional (m ha ⁻¹)	Óptima	75	40	25
	Mínima	25 a 30	20	5 (hasta 15-25)
Densidad pistas, desembosque unidireccional (m ha ⁻¹)	Óptima	165	110	60
	Mínima	60 a 65	50 a 60	10 (hasta 45-60)

5. Condicionantes selvícolas

El modelo de gestión forestal que se esté desarrollando en el monte es un condicionante de primera magnitud de las operaciones a realizar en el aprovechamiento. El señalamiento realizado, el tipo de corta, la superficie de corta, la intensidad de la corta, las características de la masa después del aprovechamiento y el método de aprovechamiento elegido determinarán cual es la operación de corta y desembosque más apropiada para el monte (Rodríguez et al. 2005).

- **Tipo de corta.** Según se trate de primeras, segundas claras o cortas de regeneración, las técnicas a emplear podrán variar. En el caso de primeras claras la reducida distancia entre los pies y el pequeño tamaño de los productos a extraer precisa la apertura de calles para poder realizar la extracción de los productos de forma mecanizada (figura 5.9). En este caso el método de aprovechamiento podría ser el de madera corta, utilizando para el apeo y procesado una cosechadora forestal y para el desembosque un autocargador. En el caso de cortas correspondientes a segundas claras o cortas de regeneración la mayor distancia entre los pies permite la mecanización del desembosque. Generalmente el método de aprovechamiento es de fuste entero. El apeo y procesado se realizaría manualmente, con motosierra, y el desembosque con skidder.



Figura 5.9. Primeras claras en una masa de *Pinus sylvestris*. Masa previa a la actuación (izquierda) y masa tras la actuación con apertura de calles para el trabajo con cosechadora (Fotos: J. Pemán).

- **Intensidad de la corta.** La intensidad de la corta condiciona, igualmente, las operaciones a realizar, en este caso, desde un punto de vista económico (figura 5.10). Las cortas inferiores a 20 t ha⁻¹ hacen recomendable las cortas manuales y el desembosque por tracción animal, mientras que las cortas entre 20 y 40 t ha⁻¹ permitirían una mecanización en las operaciones de apeo y desembosque. Para intensidades de corta superiores a 40 t ha⁻¹ el *skidder* y el autocargador podrían ser los más adecuados según las condiciones del terreno.



Figura 5.10. Primeras claras en una repoblación realizada por terrazas de *Pinus sylvestris*, en donde se realiza una corta sistemática de una terraza de cada tres (fotos: J. Pemán).

- **Características de la masa.** Las características con que quedará la masa después del aprovechamiento, sobre todo en lo que hace referencia a la densidad y la separación de los pies, condicionarán las diferentes operaciones (Rodríguez et al. 2005) (tabla 5.16).

Tabla 5.16. Técnicas de desembosque según la densidad, separación de pies y métodos de aprovechamiento.

Densidad (pies ha ⁻¹)	Separación pies (m)	Restricciones	Método aprovechamiento		Medios
			Fuste entero	Madera corta	
850 a 1 350	2,5 a 3,5	Acceso mecanizado difícil	Solo árboles de poca altura	Desembosque longitudinal, rollos de 4 m	Arrastre animal
		Acceso maquinaria, calles de 3,5 m	Permite desembosque de forma semisuspendida y suspendida	Permite madera suspendida	Medios mecanizados Autocargador, carga transversal
400 a 850	3,5 a 5	Dificultad maniobrar	Longitud pieza depende pendiente	Carga longitudinal por paquetes o madera corta	Autocargador carga longitudinal <i>Skidder</i> , tractor agrícola
400 a 500	5 a 15	No hay límites maquinaria	Cualquier longitud	Todo tipo de carga	Todas posibilidades de mecanización según terreno

Como regla general, cuanto mayor es la densidad más conveniente es utilizar el sistema de aprovechamiento de madera corta, para evitar daños en la masa.

El diámetro y volumen medio de los árboles condicionan el material y los equipos que se pueden emplear en la explotación. Por ejemplo, si se está ante una primera clara de una plantación de pino, los árboles tendrán unos diámetros normales de 10-30 cm y unos volúmenes unitarios de 0,04-0,4 m³, se pueden utilizar cosechadoras más ligeras que son más económicas. A medida que aumenta el diámetro y volumen medio de los árboles, aumenta el rendimiento, tanto de operaciones manuales como de las máquinas. Actualmente los cabezales cosechadores en uso de mayor dimensión presentan un diámetro máximo de utilización de unos 60 cm por lo que no se pueden emplear para árboles de mayor grosor. Sin embargo, la tendencia actual en el centro-norte de Europa y Norteamérica es ir hacia cabezales que permiten trabajar con diámetros de hasta 70-80 cm.

La forma de ramificación de los árboles y la rectitud de sus troncos condicionan mucho la posibilidad de realizar su procesado de forma mecanizada. Para que esto sea posible, los árboles deben poseer troncos rectos y ramas que no sean gruesas. En este sentido, el procesado en montes de coníferas se mecaniza mucho más fácilmente que los montes de frondosas (a excepción del eucalipto y el chopo) ya que las coníferas presentan, en general, ramificación monopódica con troncos rectos y únicos (sin bifurcaciones) y con ramas finas, que favorecen la operación de desramado con cabezales cosechadores. Sin embargo, en algunas masas de coníferas se encuentran a menudo árboles tortuosos o bifurcados que disminuyen el rendimiento de los cabezales y en algunos casos deben ser procesados de forma manual.

6. Bibliografía

- Abreu JM (1995) Propiedad, titularidad y funcionalidad de los terrenos forestales. ICONA, Madrid.
- Ambrosio Y, Picos J, Valero E (2001) Condicionantes para los aprovechamientos forestales en Galicia. Tercer Congreso Forestal Español, Granada 25 al 28 de septiembre de 2001, 7 pp.
- Agherkakli B, Najafi A, Sadeghi SH (2010) Ground based operation effects on soil disturbance by steel tracked skidder in a steep slope of forest. *J For Sci* 56:278-284.
- Bartoli M, Brêthes A, Cacot E, Chagnon JL, Gauquelin X, Nicolas M, Richter C (2009). Guide pratique : Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL ». Guide pratique, ONF.
- Boto J, López-Díez J, Marcelo V, Pastrana P (2000) Trabajos de tracción: influencia de la rodadura y el patinamiento. *Vida Rural* 68-70.
- Cambi M, Certini G, Neri F, Marchi E (2015) The impact of heavy traffic on forest soils : A review. *For Ecol Manage* 338:124-138.
- Centro Prevención Riesgos Laborales (2007) Trabajos en ambientes calurosos. Junta de Andalucía.

- Collins K, Gallagher G, Gardiner J, et al. (2000) Code of best forest practice - Ireland. Forest Service. Department of the Marine and Natural Resources, Dublin.
- Gabaldón M (2013) Manual de buenas prácticas en aprovechamientos forestales en Castilla-La Mancha. Junta de Castilla-La Mancha.
- Horn R, Blackwell P, White R (1989) The effect of speed of wheeling on soil stresses, rut depth and soil physical properties in an ameliorated transitional Red - Brown earth. *Soil Tillage Res* 13:353-364.
- Jiménez-Fernández F, Gordo F, González-Romero A (2006) Manual sobre criterios de gestión forestal compatibles con la conservación de las especies de aves y quirópteros asociados a hábitats forestales. Junta de Castilla y León, Valladolid.
- Laina R, Acuña M, Picos J (2017) Estado del arte en el transporte de madera en rollo y biomasa desde el monte a fábrica, una comparativa España-Australia. 7º Congreso Forestal Español. Plasencia, Extremadura 26-30 de junio de 2017. 7CFE01-573.
- Márquez L (2004) Maquinaria agrícola. Blake y Hesley España, Madrid.
- Maza de la J (1970) Criterios y factores que condicionan los aprovechamientos forestales (I). Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid.
- McNabb H, Startsev A, Nguyen H (2001) Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. *Soil Sci Soc Am J* 65:1238-1247.
- Mégille X (1956) Tractors for logging. FAO.
- Owende P, Lyons J, Ward S (2002) Operations protocol for Eco - Efficient wood harvesting on sensitive sites.
- Removal FF, Formation R (2015) Effects of skidder on soil compactation . *Madera y Bosques* 21:147-155.
- Rodríguez J, Juanati C, Piqué M, Tolosana E (2005) Tècniques de desembosc en l'aprofitament forestal. Centre Propietat Forestal, Barcelona.
- Tolosana E (2016) Para una gestión forestal sostenible, más madera. Iniciativas, oportunidades y barreras a la movilización de madera de coníferas en el centro y norte de España. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 103 pp.
- Sundberg U, Silversides C (1988) Operational efficiency in forestry. Volume I: Analysis. Kluwer Academy Publishers.
- Unidad Salud Bosques (2011) Barrenador del pino silvestre (*Ips acuminatus*). Zaragoza
- Unidad Salud de los Bosques (2010) Perforadores de pinos. *Tomicus piniperda* y *Tomicus destruens*. Gobierno Aragón, Zaragoza.
- Unidad Territorial Noroeste-Río Mula (2012) Criterios de gestión forestal para la conservación de especies de aves rapaces.
- Villapol D (1997) A Madeira en Galicia e os aproveitamentos forestais. En: Inventario e Aproveitamentos Forestais. Proxecto Adapt, E.P.S., Universidade de Santiago de Compostela, pp. 209-217.
- Xunta de Galicia (2018) 1ª revisión del Plan Forestal de Galicia. Documento de diagnóstico del monte y del sector forestal gallego. Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia, 195 pp.