

# CAPÍTULO 11

## Métodos y sistemas de aprovechamiento maderero

Marcos Barrio Anta, Jesús Pemán García

### 1. Introducción

La definición de los métodos y sistemas que se van a usar en un aprovechamiento maderero son parte fundamental de su planificación, por lo que deben estar claramente definidos y descritos. Se trata de dos términos que se usan con mucha profusión en la literatura sobre aprovechamientos forestales, pero sus conceptos y definiciones varían sustancialmente de unos autores a otros, no habiendo un consenso claro en la terminología a nivel internacional (Lundbäck et al. 2021). Así, hay autores que usan ambos términos indistintamente (p.ej., Sundberg and Silversides 1988; Tolosana et al. 2000; Rodríguez et al. 2005), mientras que otros los han diferenciado claramente (p.ej., Lindroos et al. 2017; Lundbäck et al. 2021), definiendo el método como el grado de transformación de la madera en la zona de corta y el sistema como la combinación de máquinas, herramientas y equipos usados en un aprovechamiento maderero. En cuanto a la literatura forestal internacional, hay alguna como la francesa, que tradicionalmente ha diferenciado de forma clara ambos términos (ARMEF 1993) al igual que literatura anglosajona reciente de Sudáfrica (Längin et al. 2010).

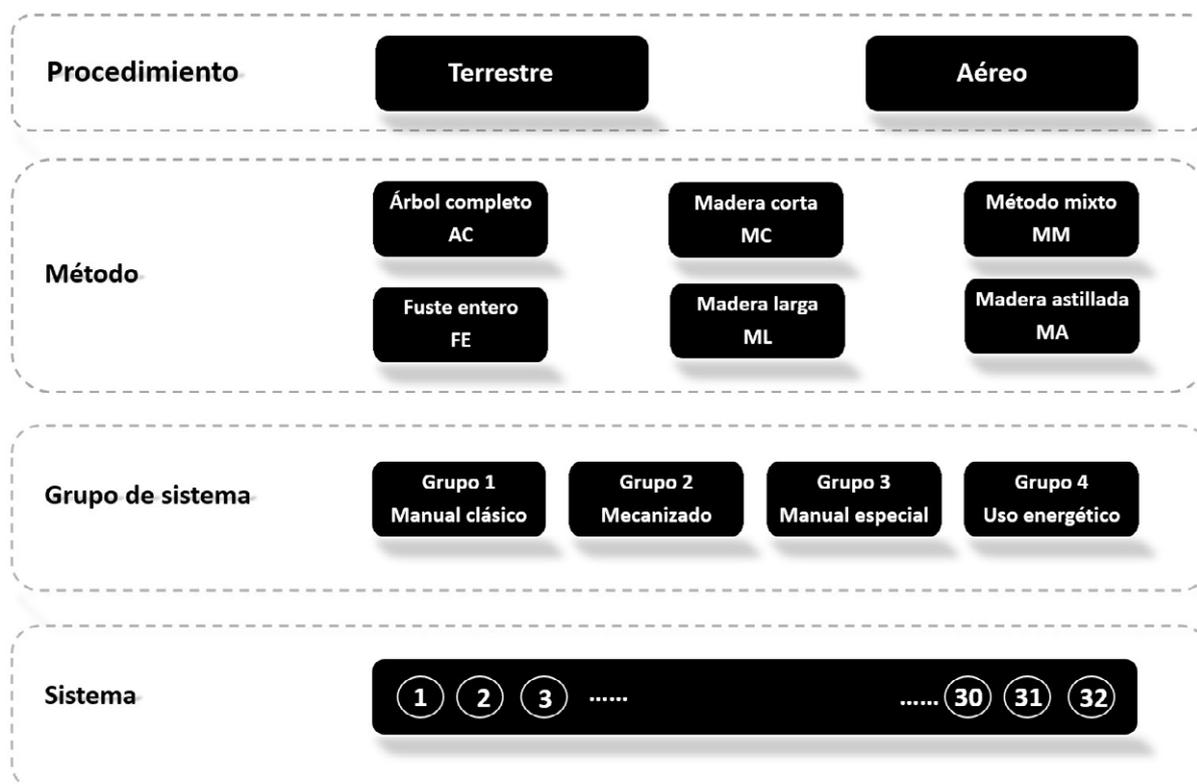
En este manual, y en aras de una mayor claridad, se considera necesaria la diferenciación de ambos términos y se adoptan las siguientes definiciones (ARMEF 1993; Längin et al. 2010; Lundbäck et al. 2021):

- **Procedimiento de aprovechamiento:** es un calificativo que se refiere al medio principal sobre el que se realizan las operaciones de saca. Si todas las operaciones se realizan sobre el terreno, se trata de un procedimiento terrestre; en cambio, si se utiliza cable aéreo u otro medio de saca aérea como helicópteros, estaríamos ante un procedimiento aéreo, basado en cable en el primer caso y en helicóptero en el segundo.
- **Método de aprovechamiento:** es grado de transformación que se realiza del árbol a pie de tocón o en la zona de corta.
- **Sistema de aprovechamiento:** es el conjunto formado por los medios, equipos, máquinas y técnicas, y el lugar donde se usan, que se emplean para llevar a cabo el aprovechamiento

de un área determinada. Los componentes individuales de un sistema pueden cambiar sin que haya necesariamente un cambio del método de aprovechamiento.

No obstante, debe tenerse en cuenta que en algunas ocasiones los productos sufren transformaciones adicionales en los cargaderos o parques de monte. Por ejemplo, se puede extraer el árbol completo y procesarlo en parque de monte para producir madera corta y residuos o bien astillarlo completamente para uso energético. En ambas situaciones el método de aprovechamiento es “árbol completo” y los grados de transformación adicionales en cargadero deberán contemplarse como operaciones de transformación que darán lugar a variantes de los sistemas de aprovechamiento.

Los sistemas descritos en este capítulo son fundamentalmente terrestres, aunque se describen también sistemas aéreos basados en cable. El uso del helicóptero como medio de desembosque es muy inusual en España. Por otra parte, métodos y sistemas están indudablemente interrelacionados ya que los sistemas de aprovechamiento se definen primariamente para cada uno de los métodos de aprovechamiento considerados y posteriormente estos se clasifican atendiendo a otros criterios como el grado de mecanización del apeo y procesado del árbol, los equipos y medios empleados para el desembosque y los lugares donde se llevan a cabo las operaciones. Los sistemas de aprovechamiento también se pueden agrupar según algún determinado criterio para facilitar su posterior descripción e interpretación. En la figura 11.1 se muestra el marco conceptual para llevar a cabo una clasificación de las operaciones forestales habituales.



**Figura 11.1.** Marco conceptual de la clasificación de los sistemas de aprovechamiento de acuerdo con los conceptos de procedimiento, método, grupo y sistema de aprovechamiento (Fuente: Adaptado de Lundbäck et al. 2021).

## 2. Métodos de aprovechamiento

Como se ha definido, el método de aprovechamiento se refiere al grado de transformación que se realiza del árbol a pie de tocón o en la zona de corta, o alternativamente, el grado de transformación con el que se entrega este en cargadero de monte (ARMEF 1993; Längin et al. 2010).

Por tanto, en ausencia de una transformación adicional en el cargadero, el método de aprovechamiento hace referencia a la forma en que la madera sale del monte hacia la industria y su elección depende fundamentalmente del tipo de producto que estas requieren y de los condicionantes del medio, principalmente pendiente y escabrosidad del terreno. Sin embargo, en ocasiones, cuando no existen condicionantes del medio y las industrias pueden recibir la madera en distintas longitudes, la elección del método de aprovechamiento se basa únicamente en criterios de rentabilidad económica.

Tradicionalmente se han descrito tres métodos principales de aprovechamiento maderero (McNally 1978; Tolosana et al. 2000): i) árbol completo, ii) fuste entero y iii) madera corta. Sin embargo, actualmente se pueden considerar otros dos métodos más, madera larga y método mixto, que son variantes de los anteriores y que cada día cobran más relevancia debido a que permiten un mejor aprovechamiento y valorización de los productos forestales que salen del monte (ARMEF 1993). Además, la relevancia actual de la biomasa forestal para uso energético impulsa un método más, el método de madera astillada. Por tanto, los métodos de aprovechamiento a considerar en este manual son seis: árbol completo, fuste entero, madera corta, madera larga, método mixto y madera astillada.

La elección del método de aprovechamiento está condicionada básicamente por los siguientes aspectos:

- El destino de la madera, su comercialización, según su calidad y dimensión.
- Las condiciones del terreno, principalmente pendiente y escabrosidad, que permitan o no el desplazamiento de maquinaria y/o la elaboración de la madera a pie de tocón.
- La disponibilidad de mano de obra, equipos y medios y su coste.
- El tipo de tratamiento selvícola a ejecutar y las características de la masa objeto de aprovechamiento.
- La densidad de la red de pistas existente.

### 2.1. Método de árboles completos (AC)

En el método de árboles completos no se produce ninguna transformación de los árboles apeados a pie de tocón o en la zona de corta (figura 11.2). Así los árboles, una vez apeados,

se extraen del área de corta y se trasladan hasta el cargadero de forma íntegra, sin desramar ni tronzar.

No obstante, algunos autores como Nisbet et al. (1997) también han denominado método de árbol completo, en este caso en “dos etapas”, cuando su extracción se realiza en dos operaciones separadas: por un lado, se procesa el fuste del árbol para su aprovechamiento maderero y por otra se lleva a cabo el aprovechamiento de los residuos de corta. Sin embargo, de acuerdo con la definición de método dada previamente, a efectos del presente capítulo, consideraremos método de árbol completo únicamente la extracción completa de este desde el pie de tocón hasta cargadero en una sola operación. Adicionalmente, el método en dos etapas aludido no permite la extracción completa de los residuos ya que en numerosas ocasiones una parte significativa suele quedar perdida en los montes, por lo que en sentido estricto no sería un aprovechamiento “completo” del árbol.

Una variante de este método que se suele aplicar en claras, cuando el arbolado tiene cierta altura, es el método de partes de árbol. En esta variante, los árboles completos se tronzan en dos o más partes para poder desemboscarlos con autocargadores o tractores agrícolas adaptados (figura 11.2).



**Figura 11.2.** Ejecución de una clara en una masa de pino radiata con aprovechamiento por el método de árbol completo o partes de árbol (izquierda). A la derecha, enganche de árbol completo para su extracción por arrastre directo (Fotos: M. Barrio Anta, izquierda y Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias y Tragsa, derecha).

El método de árboles completos es un método que se usa cada vez más en los países forestalmente avanzados y que se asocia con el empleo de taladoras-apiladoras para el apeo de los árboles y el uso de grandes tractores arrastradores, de grapa o de grapa y pluma, para el desembosque. En Norteamérica es un método muy usado debido a la abundancia de explotaciones forestales de gran extensión y volumen, a la tradición de ejecución de cortas a hecho seguidas de reforestación y a los elevados costes que se registran para las operaciones manuales.

También es un método que se está empezando a usar en Europa para aprovechar plantaciones de chopo gestionadas a turnos cortos, 5-8 años, para uso energético (Spinelli et al. 2020) en

las que el tamaño de los árboles impide el uso de los sistemas de apeo y procesado simultáneo que se explicarán en el apartado 3.4 (figura 11.3).



**Figura 11.3.** Plantación energética de chopo de 4 años (izquierda) y acopio de árboles completos en parque logístico para su posterior astillado (derecha) en la región del Piemonte (Italia) (Fotos: M. Barrio Anta).

Entre las principales ventajas que se puede atribuir a este método destacan las siguientes (McNally 1978; Nisbet et al. 1997; Leinonen 2004): i) aumento de la rentabilidad total del aprovechamiento y reducción del riesgo de accidentes al reducir al mínimo las operaciones a pie de tocón, ii) mayor y mejor aprovechamiento del árbol (permite una clasificación minuciosa de productos posteriormente en cargadero) y aprovechamiento total de la biomasa forestal aérea, iii) no requiere trabajos de limpieza en la zona de corta, iv) la reforestación posterior es más fácil, rápida y barata, v) la apariencia visual de los lugares de aprovechamiento es mejor y vi) es un método adecuado para operaciones en terrenos con mucha pendiente.

En cuanto a las desventajas se pueden citar las siguientes (Nisbet et al. 1997; Tolosana et al. 2000): i) aumento de los costes de desembosque (mayor relación volumen/peso), ii) empobrecimiento de la fertilidad del suelo tras varios ciclos de cultivo (ramas y hojas tienen unas concentraciones de nutrientes mayores que los fustes), iii) riesgo de acidificación por la mayor extracción de cationes básicos al extraer el árbol completo, iv) mayores afecciones del desembosque sobre el suelo (no hay residuos para usar como cama en las calles de desembosque) y regenerados y v) posible degradación del hábitat ya que los restos de corta son refugio para la fauna y un hábitat importante para invertebrados y hongos.

Por tanto, teniendo en cuenta los aspectos anteriores, las razones que pueden recomendar la aplicación de este método son las siguientes:

- Que exista previsión de aplicar cortas de regeneración a hecho seguidas de repoblación o regeneración vegetativa.

- Que se pretenda llevar a cabo un aprovechamiento energético de los restos de corta o del árbol completo, especialmente en claros donde los árboles tienen escaso volumen y se elevan mucho los costes de apeo y procesado de los árboles.
- Cuando la mano de obra sea difícil de encontrar y los costes salariales sean altos, común a la mayoría de los países desarrollados.
- Cuando existen condiciones muy difíciles para el procesado de los árboles a pie de tocón, pendientes elevadas.

Por otra parte, el método de árboles completos se debería evitar en las dos circunstancias siguientes (Nisbet et al. 1997): i) masas sobre suelos pobres, donde la baja fertilidad es un factor limitante y ii) masas sobre suelos muy húmedos y blandos donde los daños a los suelos y a los cursos de agua pueden ser intolerables, podría aplicarse si la extracción se lleva a cabo por cable aéreo.

## 2.2. Método de fustes enteros (FE)

En este método, el árbol una vez apeado es desramado y descopado o despuntado, pero no se trocea (figura 11.4). Es el método indicado cuando se desea obtener madera con destino a postes, puntales o madera para uso estructural.

Presenta algunas de las ventajas ya apuntadas para el método de árboles completos: i) limitación de las operaciones manuales, mayor rentabilidad y menor riesgo de accidentes laborales, ii) permite llevar a cabo posteriormente en cargadero un tronzado más pormenorizado y una mejor clasificación, siendo un método recomendable en el caso de maderas valiosas, iii) al igual que el método anterior, es un método adaptado a terrenos escabrosos y de mucha pendiente donde el tronzado de los fustes sería muy problemático. Por otro lado, si no se extraen los restos de corta, se reduce la extracción de nutrientes y otros efectos ambientales adversos del método de árboles completos.



**Figura 11.4.** Pilas de fustes enteros en cargadero en espera de su transporte a destino (Fotos: M. Barrio Anta).

Entre sus inconvenientes están un mayor coste de las operaciones manuales, en caso de desramado manual y del desembosque, frente a los métodos siguientes de madera corta y madera larga y también el mayor coste y dificultad para la eliminación de los residuos, cuando esta sea necesaria, frente al método de árboles completos.

Las características de este sistema hacen que sea aconsejable cuando (Tolosana et al. 2000):

- La madera larga tiene demanda por la industria, es el caso de postes, puntales o madera estructural.
- Sea difícil para los trabajadores desplazarse por el área de corta.
- En últimas claras, cortas de regeneración por aclareo sucesivo o cortas a hecho con apeo manual, donde al elevado valor de la madera se une el elevado peso de las trozas que dificulta su reunión manual.
- Hay una elevada intensidad de corta que justifique la apertura de viales para reducir las distancias de saca.

### 2.3. Método de madera corta (MC)

En este método, el árbol una vez apeado es desramado, despuntado y dividido en trozas de 2 a 2,5 m de longitud, según las exigencias de la industria (figura 11.5). Se precisará de la reunión y apilado de las trozas previamente a su desembosque y habitualmente exige gestionar los residuos del aprovechamiento. Estos se pueden triturar *in situ*, dejar en el área de corta acordados o amontonados o se pueden extraer para su uso energético.

Es el método más utilizado en España y también a nivel europeo, aunque cada vez tienden a usarse más los de métodos de madera larga o mixto. Sin embargo, en los países montañosos de Centroeuropa (p.ej., Suiza o Austria), domina el método anterior de fuste entero (ver tabla 11.2).

Las principales ventajas del método son: i) la economía de la saca y del transporte ya que principalmente se utilizan medios de alta capacidad (tractores autocargadores) en comparación con los métodos anteriores y ii) se produce un menor daño al suelo al no hacerse arrastre de madera, excepción arrastre de paquetes de madera corta.

Entre los inconvenientes se citan: i) el mayor procesado de la madera en el área de corta que conlleva mayores costes y riesgos de accidentes cuando se lleva a cabo de forma manual y ii) la necesidad, en muchos casos, de la eliminación de los residuos en comparación con el método de árboles completos.



**Figura 11.5.** Madera corta agrupada en cordones tras la ejecución de una clara y lista para su desem-bosque (izquierda) y madera corta apilada ya en cargadero en espera de su transporte a destino (Fotos: M. Barrio Anta).

#### 2.4. Método de madera larga (ML)

En este método la madera se extrae del área de corta en trozas de longitudes de hasta 4-5 metros, pero sin llegar a ser fuste entero. Por tanto, requiere que a pie de tocón se realicen también las operaciones de desramado, despuntado y tronzado. Debido al mayor tamaño de las trozas, cuando el procesado se realiza de forma manual, la reunión y apilado de las trozas previamente a su desembosque deberá hacerse con la ayuda del cable o tracción animal. Debido a esta dificultad, el método se asocia principalmente con el apeo y procesado mecanizado. Se trata de un método que se usa cada vez más en países donde el método de madera corta tiene mucha tradición, países escandinavos, por la mejor economía del procesado y desembosque y porque permite una mejor clasificación de la madera para diferentes usos y se adecua igualmente al desembosque con los autocargadores usados habitualmente para madera corta (Tolosana et al. 2000).

La principal ventaja respecto al método de madera corta es la economía de la saca y del transporte. Entre los inconvenientes respecto al método de fuste entero está el mayor procesado de la madera en el área de corta, más coste y riesgo de accidentes cuando las operaciones son manuales, y en comparación con el método de árboles completos, el problema de la eliminación de los residuos.

En España se está aplicando en Galicia y la Cornisa Cantábrica con eucalipto debido a que algunas fábricas están adaptadas a la recepción de madera de hasta 5 m de longitud y este método permite una mayor rentabilidad del procesado, desembosque y transporte de la madera a fábrica (figura 11.6). También se aplica en el centro de la Península en aprovechamientos de chopo.



**Figura 11.6.** Madera larga de chopo (izquierda) y eucalipto (derecha) en cargadero en espera de su transporte a destino (Fotos: A. Fernández Manso, izquierda y M. Barrio Anta, derecha).

### 2.5. Método Mixto (MM)

Como su nombre indica es un método intermedio entre el método de madera corta y el de madera larga. También se ha denominado método de madera clasificada a longitudes variables (Tolosana et al. 2000). En este caso, la madera de sierra se elabora con longitudes mayores, madera larga, y la destinada a trituración con dimensiones de madera corta. Es un método bastante usado en Francia en cortas en masas en estado de fustal (ARMEF 1993); sin embargo, en España se ha usado poco, ya que, aunque es frecuente la clasificación de la madera en monte por destinos según diámetro y calidad (figura 11.7), no se suele variar la longitud de las trozas.



**Figura 11.7.** Clasificación de madera corta en monte según destinos, por diámetro y calidad (Foto: M. Barrio Anta).

### 2.6. Método de madera astillada (MA)

Este método consiste en astillar in situ, a pie de tocón o en zona de corta, árboles enteros pequeños o trozos de árbol (figura 11.8). En el caso de coníferas, suele haber proporción alta de

hojas, acículas y ramillos por lo que se suele tratar de material vegetal triturado más que de astilla de madera en sentido estricto (ARMEF 1993). Se trata de un método que puede aplicarse en clareos o primeras claras. Sin embargo, en ocasiones es frecuente que se extraigan los árboles completos o trozos de árbol a cargadero y sea ahí donde se procede a su astillado. Como ya se ha comentado, a efectos de la clasificación seguida en este manual, el método en este supuesto es el de “árbol completo o partes de árbol”, considerándose el astillado en cargadero una transformación adicional que dará lugar a un sistema de aprovechamiento diferente, pero no estaremos hablando de un método de aprovechamiento por astillado.



**Figura 11.8.** Detalle del tamaño y material obtenido del astillado de pinos (izquierda). Detalle del acopio de astilla a pie de pista en aprovechamiento experimental de una clara en pino radiata por el método de madera astillada (derecha) (Fotos: M. Balboa Murias, izquierda y Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias y Tragsa, derecha).

El método de madera astillada también se aplica con frecuencia en el aprovechamiento de cultivos energéticos leñosos gestionados a turnos de 2-5 años (Sixto et al. 2010), donde los arbolillos son cortados y astillados de forma simultánea empleando cosechadoras agrícolas con cabezales cosechadores adaptados al material leñoso.

### 3. Sistemas de aprovechamiento

Un sistema de aprovechamiento es el conjunto formado por los medios, equipos, máquinas y técnicas (y el lugar en el que se usan) usados para llevar a cabo el aprovechamiento maderero una vez que se ha decidido el método a usar. Los componentes individuales de un sistema pueden cambiar sin que haya cambio del método de aprovechamiento, ya que determinados trabajos se pueden ejecutar indistintamente en la zona de corta, a pie de pista o en cargadero de monte, originándose de esta forma distintas variantes de los sistemas de aprovechamiento.

El conjunto de operaciones necesarias para llevar cabo un aprovechamiento maderero puede ser muy numeroso y engloba operaciones previas (apertura de vías y cargaderos, desbroces, etc.), operaciones de aprovechamiento propiamente dichas y operaciones posteriores (tratamientos de residuos, reparación de vías, etc.). A efectos de realizar una clasificación de sistemas de aprovechamiento, las principales operaciones madereras propiamente dichas que se van a

contemplar son: apeo del árbol, procesado (desrame, despuntado y tronzado), reunión, desem-bosque (incluye carga y descarga) y transporte a destino (incluye carga y descarga).

Existen otras operaciones, como el descortezado de la madera de pino, que históricamente se llevó a cabo en monte, pero que actualmente no se contempla ya que se hace en destino. Las razones son su mayor rendimiento y el alto valor comercial que actualmente tiene esta corteza, se usa en jardinería, viveros o para generar energía.

Los medios, equipos y máquinas a emplear pueden ser muy numerosos. A modo de síntesis, y para cada una de las operaciones madereras, se contemplan los siguientes:

- **Apeo:** operario con motosierra, cosechadora forestal propiamente dicha, cosechadora fo-  
restal sobre retroexcavadora, taladora-apiladora, cosechadora agrícola adaptada al material  
leñoso, cultivos energéticos a turno muy corto.
- **Procesado:** operario con motosierra, cosechadora forestal propiamente dicha, cosechadora  
forestal sobre retroexcavadora, astilladora integrada en autocargador, cosechadora agrícola  
adaptada al material leñoso.
- **Reunión:** operario, operario con pequeñas máquinas auxiliares (cabrestante portátil), ani-  
males (mulas o caballos), cable de skidder, cosechadora forestal, taladora-apiladora.
- **Desembosque:** tractor autocargador (o tractor agrícola adaptado), skidder (o tractor agríco-  
la con cabrestante), camión todo terreno (carroceta), animales (mulas o caballos), pequeñas  
máquinas (mula mecánica, vehículos 4x4, miniautocargadores), canaletas artificiales, cable  
(terrestre o aéreo).

Aunque puede ser frecuente realizar operaciones complementarias en cargadero, como el cla-  
sificado o tronzado en el caso del método de fuste entero, estas se han obviado para simplificar.  
Sólo se ha contemplado como operación en cargadero el procesado o astillado en el caso del  
método de árbol completo. Para establecer un listado de sistemas de aprovechamiento se ha  
seguido un sistema jerárquico en 3 niveles:

- **Primer nivel:** se especifica el método a utilizar (madera corta (MC), fuste entero (FE), made-  
ra larga-método mixto (ML/MM), árbol completo (AC), madera astillada (MA)).
- **Segundo nivel:** se especifica el grado de mecanización del apeo y procesado y los equipos  
usados (apeo y procesado manual (0), apeo manual y procesado mecanizado (1), apeo y  
procesado mecanizado con cosechadora (2) y apeo mecanizado con taladora-apiladora y  
procesado con cosechadora (3)).
- **Tercer nivel:** se especifican los equipos a usar en el desembosque (autocargador (AT),  
skidder (SK), carroceta (CT), canaletas (CN), cable grúa (CA), tracción animal (AN), pequeñas  
máquinas (PQ), tractor agrícola con remolque (TA), autocargador con astilladora (ATA).

En aras de la simplificación, para el transporte no se ha especificado el tipo de camión que se puede usar en cada caso. De acuerdo con estas consideraciones se han definido 32 sistemas de aprovechamiento maderero que se pueden utilizar actualmente en mayor o menor grado en España (tabla 11.1). Se trata de un intento de sistematización que no pretende ser exhaustivo ya que muchos de los sistemas tienen variantes o modificaciones locales que no es posible recoger en esta clasificación.

Desde el punto de vista didáctico, los sistemas definidos en la tabla 11.1 se han reagrupado en cuatro tipos o grupos:

- Sistemas manuales clásicos (grupo 1).
- Sistemas mecanizados (grupo 2).
- Sistemas manuales especiales (grupo 3).
- Sistemas para uso energético (grupo 4).

**Tabla 11.1.** Clasificación de los sistemas de aprovechamiento maderero.

Método	Código sistema	GRUPO	ZONA DE CORTA				CARGADERO	Nº
			Tipo de operación, máquinas y equipos					
			Apeo	Procesado	Reunión	Desembosque		
MC	MC-0-AT	1	Manual			Autocargador	Transporte camión	1
	MC-0-SK	1	Manual			Skidder	Transporte camión	2
	MC-0-CT0	1	Manual			Carroceta	Transporte camión	3
	MC-0-CT1	1	Manual		Cable trineo automotriz	Carroceta	Transporte camión	4
	MC-1-AT	2	Manual	Cosechadora		Autocargador	Transporte camión	5
	MC-2-AT	2	Mecanizado (Cosechadora)			Autocargador	Transporte camión	6
	MC-3-AT	2	Mecanizado (Tala- dora-apiladora)	Mecanizado (Cosechadora)		Autocargador	Transporte camión	7
	MC-3-AN		Manual			Animal	Transporte camión	8
	MC-0-CN	3	Manual			Canaletas	Transporte camión	9
	MC-0-PQ	3	Manual			Pequeñas máquinas		10
FE	FE-0-SK	1	Manual		Animal/ Skidder	Skidder	Transporte camión	11
	FE-0-AT	1	Manual		Animal	Autocargador	Transporte camión	12
	FE-0-CA	1	Manual		Animal	Cable grúa	Transporte camión	13
	FE-2-SK	2	Mecanizado (Cosechadora)			Skidder	Transporte camión	14
	FE-3-SK	2	Mecanizado (Tala- dora-apiladora)	Mecanizado (Cosechadora)		Skidder	Transporte camión	15
	FE-0-AN	3	Manual		Animal	Animal	Transporte camión	16
	FE-0-PQ	3	Manual		Cabrestante portátil	Pequeñas máquinas	Transporte camión	17

Método	Código sistema	GRUPO	ZONA DE CORTA				CARGADERO	N°
			Tipo de operación, máquinas y equipos					
			Apeo	Procesado	Reunión	Desembosque		
ML/MM	ML-0-SK	1	Manual	Manual	Animal/ Skidder	Skidder	Transporte camión	18
	ML-0-AT	1	Manual	Manual	Animal	Autocargador	Transporte camión	19
	ML-0-CA	1	Manual	Manual	Animal	Cable grúa	Transporte camión	20
	ML-1-AT	2	Manual	Cosechadora		Autocargador	Transporte camión	21
	ML-2-AT	2	Mecanizado (Cosechadora)			Autocargador	Transporte camión	22
	ML-3-AT	2	Mecanizado (Tala- dora-apiladora)	Mecanizado (Cosechadora)		Autocargador	Transporte camión	23
	ML-0-AN	3	Manual		Animal	Animal	Transporte camión	24
	ML-0-PQ	3	Manual		Cabrestante portátil	Pequeñas máquinas	Transporte camión	25
	AC	AC-0-CA	1	Manual	-	Cable grúa	Cable grúa	Procesado Transporte camión
AC-0-SK		1	Manual	-	Animal/ Skidder	Skidder	Procesado Transporte camión	27
AC-2-SK		2	Mecanizado (Tala- dora-apiladora)	-	Mecanizado (Talado- ra-apiladora)	Skidder	Procesado Transporte camión	28
AC-2-AT		2	Mecanizado (Tala- dora-apiladora)	-	Mecanizado (Talado- ra-apiladora)	Autocargador	Procesado Transporte camión	29
MA		MA-0- ATA	4	Manual	Mecanizado con astilladora integrada en auto- cargador			Transporte camión
	MA-2-TA	4	Mecanizado (Cosechadora agrícola adaptada)			Tractor agrícola con remolque	Transporte camión	31
	MA-3- ATA	4	Mecanizado (Tala- dora-apiladora)	Mecanizado con astilladora integrada en auto- cargador			Transporte camión	32

**Codificación:** a) primeras dos letras indican el método de aprovechamiento (MC=madera corta, FE=fuste entero, ML=madera larga, MM=método mixto, AC=árbol completo, MA=madera astillada); b) el dígito siguiente indica el grado de mecanización del apeo y procesado (0=apeo y procesado manual, 1=apeo manual y procesado mecanizado, 2=apeo y procesado mecanizado con una máquina y 3=apeo mecanizado con una máquina y procesado con otra); c) las últimas dos letras indican el equipo usado para el desembosque (AT=autocargador, SK=skidder, CT=carroceta, CA=cable aéreo, PQ=pequeñas máquinas, AN=animales, TA=tractor agrícola con remolque cerrado con baldas, ATA=autocargador con astilladora integrada); d) el grupo indica: 1=sistemas manuales clásicos, 2=sistemas mecanizados, 3=sistemas manuales especiales, 4=sistemas para uso energético. **Nota:** cuando se habla de autocargador, se incluye aquí el tractor agrícola adaptado como autocargador. Igualmente, cuando se habla del skidder, se incluye el tractor agrícola adaptado con cabrestante.

Para una visualización rápida de cada uno de los sistemas, en la figura 11.9 se muestran los números de orden de los distintos sistemas de la tabla 11.1, según el método de aprovechamiento que utiliza y el grupo en el que se encuadra.

		Método de aprovechamiento				
		Árbol completo AC	Fuste entero FE	Madera corta MC	Madera larga/método Mixto ML/MM	Madera astillada MA
Grupo de sistema	Grupo 1 Manual clásico	26 27	11 12 13	1 2 3 4	18 19 20	-
	Grupo 2 Mecanizado	28 29	14 15	5 6 7	21 22 23	-
	Grupo 3 Manual especial	-	16 17	8 9 10	24 25	-
	Grupo 4 Uso energético	-	-	-	-	30 31 32

**Figura 11.9.** Clasificación de los sistemas de aprovechamiento de la tabla 11.1 según el método de aprovechamiento y el grupo en el que se incluye (se muestra su número, según tabla 11.1).

Aunque los sistemas se definen primariamente para cada método de aprovechamiento, y estos, por tanto, reflejan el tipo de productos obtenidos en la zona de corta, estos productos pueden sufrir una transformación adicional en cargadero que debe quedar reflejada también de alguna manera en la codificación de los sistemas.

En este sentido, los sistemas que van del número 11 al 17, transforman el árbol a pie de tocón o en zona de corta en fuste entero; no obstante, este puede sufrir un procesamiento posterior antes de su transporte a fábrica. Así, en zonas de mucha pendiente, aunque la industria demande madera corta, es frecuente el empleo de sistemas de aprovechamiento que hacen fuste entero debido a las dificultades de hacer madera corta en estas condiciones. Esto hace que sea necesario un posterior tronzado y clasificación de las trozas en cargadero, como ocurre con cierta frecuencia en el aprovechamiento de montes bajos de castaño en Asturias.

Para tener en cuenta el procesamiento posterior en cargadero se puede incluir un subíndice (ML para madera larga y MC madera corta) al código del sistema empleado para indicarlo. Así, si en un aprovechamiento llevado a cabo por el sistema 11 (FE-0-SK), se procede a tronzar los fustes en cargadero para hacer madera corta, la denominación del sistema sería FE-0-SK<sub>MC</sub>.

Igualmente, los sistemas de aprovechamiento que utilizan el método de árbol completo o trozos de árbol (números 26 al 29, en la tabla 11.1) van a sufrir siempre un procesamiento posterior

en cargadero ya que el transporte de árboles completos o trozos de árbol a centro de consumo no suele ser una opción en España. En este caso, el procesamiento puede consistir en hacer madera corta, MC (se requiere desramado, descopado y despuntado), en hacer fuste entero, FE (se requiere desramado y despuntado) o en hacer madera astillada, MA (se requiere el astillado del árbol o los trozos del árbol).

Así, en el caso de que se use el sistema AC-0-CA y posteriormente se vaya a hacer el procesamiento como madera corta en cargadero, el sistema se puede acompañar del subíndice MC que indica la transformación en madera corta (AC-0-CA<sub>MC</sub>). En el caso de usar el sistema AC-2-AT en el que los árboles o trozos de árbol se vayan a astillar posteriormente en cargadero, el sistema sería el AC-2-AT (tabla 11.1) con el subíndice MA para indicar que se hace madera astillada en cargadero (AC-2-AT<sub>MA</sub>) (figura 11.10).



**Figura 11.10.** Ejemplo y detalles de la aplicación del sistema completamente mecanizado AC-2-AT<sub>MA</sub> en la ejecución de una clara en una masa de pino radiata. Detalle de apeo y apilado mecanizado de árbol completo y/o trozos de árbol con cabezal talador-apilador (izquierda). Desemboque de árboles enteros y/o trozos de árbol con autocargador (centro). Astillado en cargadero con una astilladora móvil (Fotos: M. Barrio Anta, izquierda, Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias y Tragsa, centro y derecha).

Debido a la gran variedad de situaciones a las que se enfrentan las operaciones madereras y a que el éxito de esta actividad depende en gran parte de la elección del sistema de aprovechamiento más adecuado, en el apartado 4 se analiza el procedimiento a seguir para elegir el sistema de aprovechamiento “óptimo” y se presentan fichas, a modo de ejemplo, de elección del sistema en algunas situaciones particulares.

### 3.1. Sistemas Manuales clásicos (Grupo 1)

Denominamos sistemas manuales clásicos a aquellos en los que el apeo y procesamiento del árbol se realiza de forma manual con motosierra y el desembosque con autocargador, skidder, tractores agrícolas adaptados o con cable, terrestre o cable grúa. Los medios o equipos usados en los sistemas mecanizados son (figura 11.11):

- **Apeo y procesamiento:** manual con motosierra.

- **Reunión:** manual, tracción animal, cable de skidder, cable de equipo automotriz.
- **Desembosque:** tractor autocargador (o tractor agrícola adaptado), skidder (o tractor agrícola adaptado), carroceta y cable automotriz. Con fuste entero o árbol completo se pueden usar los tres tipos de skidder (con cabrestante, con grapa, con grapa y pluma). Sin embargo, debido su versatilidad, el skidder con cabrestante es el más usado en España.

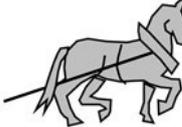
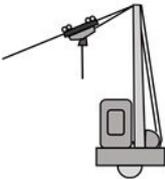
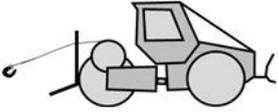
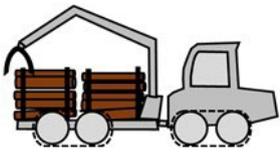
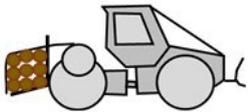
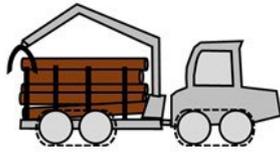
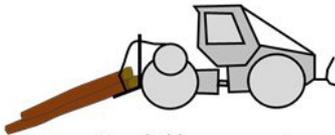
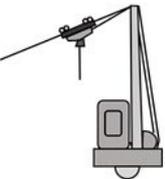
	Madera corta	Fuste entero/madera larga/ árbol completo
Apeo y procesado		 <p>Manual con motosierra</p>
Reunión	 <p>Manual</p>	 <p>Con tracción animal</p>  <p>Con cable tipo trineo automotriz</p>  <p>Con cable grúa</p>  <p>Con skidder por arrastre directo</p>  <p>Con carroceta por arrastre directo</p>
Desembosque	 <p>Con autocargador</p>  <p>Con skidder suspendida</p>	 <p>Con autocargador</p>  <p>Con skidder por arrastre</p>  <p>Con carroceta</p>  <p>Con cable tipo trineo automotriz</p>  <p>Con cable grúa</p>
Sistemas de la tabla 13.1		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Madera corta: MC-0-AT, MC-0-SK, MC-0-CT0 y MC-0-CT1</li> <li>• Madera larga, método mixto: ML-0-AT, ML-0-SK, ML-0-CA</li> <li>• Fuste entero: FE-0-AT, FE-0-SK, FE-0-CA</li> <li>• Árbol completo: AC-0-SK, AC-0-CA</li> </ul>

Figura 11.11. Máquinas y equipos usados en las distintas operaciones con los sistemas manuales clásicos.

### Condiciones de utilización

- Son válidos para todo tipo de masas (coníferas y frondosas) y terrenos accesibles para el trabajo de máquinas de ruedas (pendientes hasta un 40%) y también para terrenos abruptos donde la madera se puede extraer utilizando cable aéreo.

- La pendiente del terreno y el tamaño de la explotación establecen los límites para la selección de los equipos de desembosque.
- Se emplean cuando se hace madera corta y/o fuste entero/madera larga en cortas finales, donde los árboles son de gran diámetro e impiden o dificultan mucho el apeo y procesado mecanizado (figura 11.12).
- Son frecuentes cuando se trata de cortas de frondosas, incluso sin ser cortas finales, ya que la mayor tortuosidad de los fustes y la presencia de troncos truncados (a excepción de eucaliptos y chopos) impide mecanizar el procesado.
- Son los sistemas aconsejables cuando se trata de explotaciones con bajo volumen de madera ya que, en estos casos, la alta repercusión de la mecanización del apeo y procesado en el coste por unidad de producción hacen que esta sea inviable.

### Ventajas

- Se utilizan técnicas comunes y bien conocidas.
- Se requiere baja inversión financiera para las operaciones de apeo y procesado.
- Fácil de organizar y planificar (poca interdependencia entre operaciones).

### Inconvenientes

- Baja productividad del apeo y procesado manual.
- Si no están bien coordinados y planificados el apeo y procesado con el desembosque pueden provocarse impactos ambientales altos (por falta de calles o trabajar sobre suelos sensibles o muy húmedos).



**Figura 11.12.** La explotación de madera de frondosa de grandes dimensiones exige el apeo y procesado manual. Apeo y tronzado de pie de *Quercus robur* (izquierda y centro) y cargadero de madera de *Castanea sativa* (derecha) (Fotos: M. Barrio Anta).

### 3.1.1. Sistemas manuales que emplean autocargador o skidder

Los sistemas manuales que emplean como medio de desembosque a los tractores autocargadores y a los skidders siguen siendo muy utilizados en España con los métodos de aprovechamiento más habituales (madera corta, fuste entero y madera larga).

El uso de estos sistemas es imprescindible cuando no es posible mecanizar el apeo y procesado del árbol (debido a un volumen de aprovechamiento pequeño, por razones de especie, fuste tortuoso o de gran tamaño, o condiciones desfavorables del terreno).

De forma general (independientemente de si la corta es a hecho o selectiva) con pendientes menores del 30-40% se puede utilizar el método de madera corta y para pendientes mayores los métodos de fuste entero o madera larga.

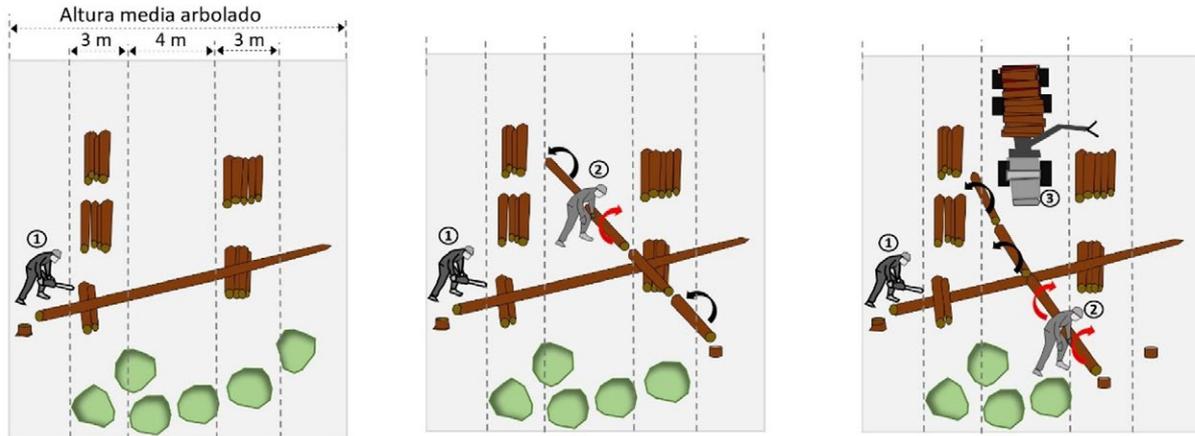
#### Organización y procedimiento operativo en la ejecución de cortas a hecho

**Método de madera corta:** cuando se van a ejecutar cortas a hecho utilizando el método de madera corta, los sistemas de aprovechamiento a usar (MC-0-AT, MC-0-SK) deben considerar los métodos nórdicos de apeo planificado, como el método del banco o el de la zona de madera, para minimizar la necesidad de reunión manual y llevar a cabo el trabajo de forma más cómoda y ergonómica (Tolosana et al. 2000).

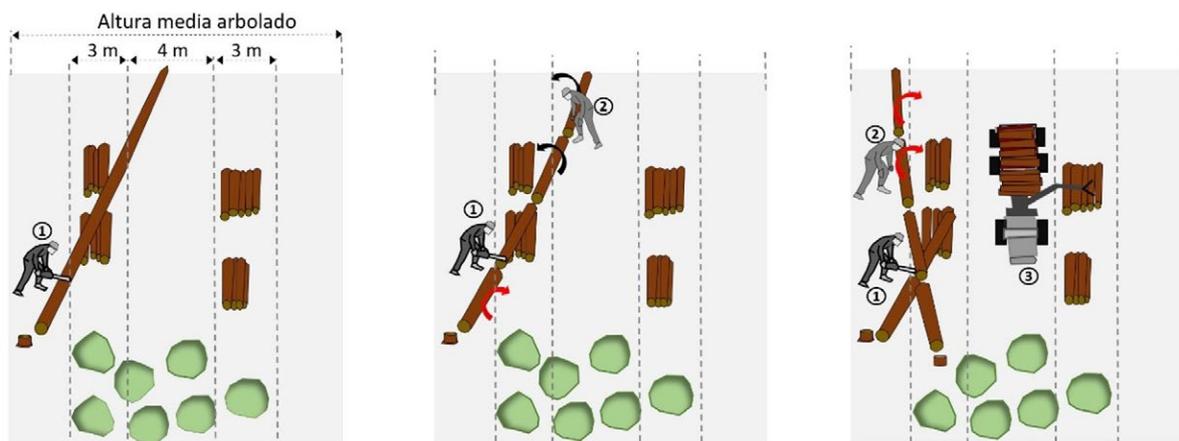
Para ello se trabaja en franjas de una anchura próxima a la altura media del arbolado, dejando una calle central de 4 m por donde posteriormente circularán los tractores de desembosque. A ambos lados de la calle está la zona de apilado de la madera de unos 3 m de anchura y el resto, hasta completar una distancia igual a la altura media del arbolado, es zona de trabajo donde se apearán árboles.

El procedimiento operativo consiste en apea los primeros árboles para formar dos pilas de madera, una a cada lado de la calle, y sobre ellas tirar un árbol que servirá como “banco de trabajo” (1 en figura 11.13). Este árbol que actuará como banco de trabajo va a permitir trabajar en una posición elevada y más ergonómica aquellos árboles que posteriormente se van a ir tirando sobre el “banco” en una dirección que minimice el trabajo de la reunión (2 en figura 11.13). En este esquema de trabajo los restos de corta quedan en el centro de la calle para que amortigüen los posibles efectos adversos sobre el suelo de la circulación de los tractores forestales forestales.

Cuando los suelos son más resistentes y/o los árboles presentan poca ramosidad, se puede trabajar con la variante denominada “zona de madera”, en la que las pilas que se van formando a cada lado de la calle actúan como banco de trabajo sobre el que se van tirando los árboles existentes a cada lado para su procesado, intentado siempre minimizar la distancia de la reunión (figura 11.14).

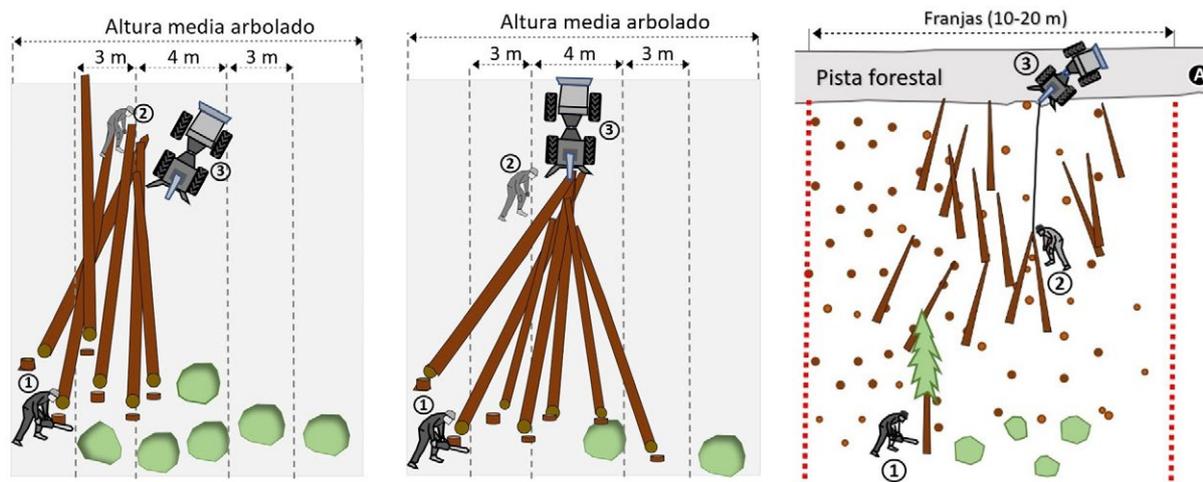


**Figura 11.13.** Esquema del apeo y reunión manual por el método de los bancos de trabajo. El motose-rrista (1) tira los árboles sobre el banco de trabajo formado (centro y derecha) de tal forma que se puede llevar a cabo el desramado y tronzado de una forma más ergonómica y los operarios que realizan la reunión (2) deberán mover poca distancia las trozas para formar las pilas. Posteriormente, el autocarga-dor (3) circulará por las calles para realizar el desembosque (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).



**Figura 11.14.** Esquema del apeo y reunión manual por el método de la zona de madera. El motose-rrista (1) tira los árboles sobre el banco de trabajo formado (centro y derecha) de tal forma que se puede llevar a cabo el desramado y tronzado de una forma más ergonómica y los operarios que realizan la reunión (2) deberán mover poca distancia las trozas para formar las pilas. Posteriormente el autocargador (3) circulará por las calles para realizar el desembosque (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).

**Método de fuste entero o madera larga:** cuando el método de aprovechamiento es fuste ente-ro o madera larga, exigencias del mercado o pendientes superiores al 30-40%, se puede utilizar un esquema de trabajo similar al de la zona de madera visto en la figura anterior (figura 11.15, izquierda) o concentrando la madera sobre la calle por donde circulará en este caso un skidder (figura 11.15, centro). Los sistemas de aprovechamiento serían FE-0-SK o ML-0-SK. Sin em-bargo, en el caso de madera larga se podría usar como medio de desembosque el autocargador con pendiente moderadas (sistema ML-0-AT). En ocasiones el skidder, debido a la escabrosi-dad o cuando las pendientes son mayores del 40-50%, no puede entrar al monte, por lo que realizaría el cableo desde pista (figura 11.15, derecha).



**Figura 11.15.** Esquema del apeo y reunión planificados por el método de la zona de madera para fustes enteros. Motoserrista (1) tira los árboles sobre la misma zona para que estos queden reunidos (franja lateral, izquierda o sobre la calle central, centro). Posteriormente un ayudante (2) enganchará los fustes al cable del skidder (3) que circulará por las calles para realizar el desembosque. En caso de dificultad de circulación por el monte, el skidder (3) puede cablear desde pista (derecha) (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).

El esquema mostrado en la figura 11.15 (derecha) se puede ejecutar también con cable grúa como se verá en el punto 3.1.2, que, aunque su uso es todavía escaso en España, se está incrementando en los últimos años.

Aunque en las figuras anteriores se han mostrado los procedimientos generales, existen numerosas variantes, como se muestra en la figura 11.16, en cortas a matarrasa de monte bajo de castaño en Asturias.

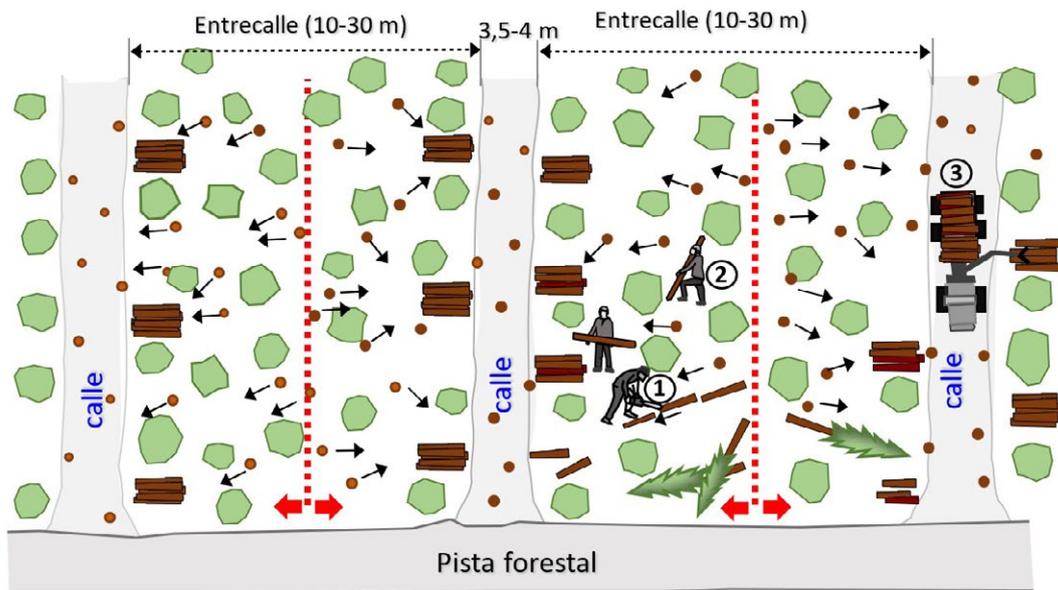


**Figura 11.16.** Aprovechamiento maderero en monte bajo de castaño de elevada pendiente por el método de fuste entero (izquierda). Reunión parcial por deslizamiento sobre la pendiente y arrastre directo con cable desde pista. Detalle del cargadero de madera (centro) y del skidder usado para la reunión y desembosque (Fotos: M. Barrio Anta).

### Organización y procedimiento operativo en la ejecución de cortas selectivas

**Método de madera corta:** cuando se están ejecutando cortas intermedias, los sistemas que hacen madera corta MC-0-AT y MC-0-SK, deben emplear apeo dirigido para facilitar la reunión

manual de la madera y disminuir la penosidad del trabajo. Para ello, se debe trabajar por franjas con una separación de unos 10-30 metros, en cuyo extremo se debe localizar una calle de desembosque (figura 11.17). La distancia entre calles será menor cuando el peso de la corta sea mayor y viceversa (distancias de menos de 20 m cuando el peso de la corta supere los 80 m<sup>3</sup>/ha y distancias mayores de 20 m cuando el peso de la corta sea menor a 50 m<sup>3</sup>/ha) (Vignote et al. 2001).



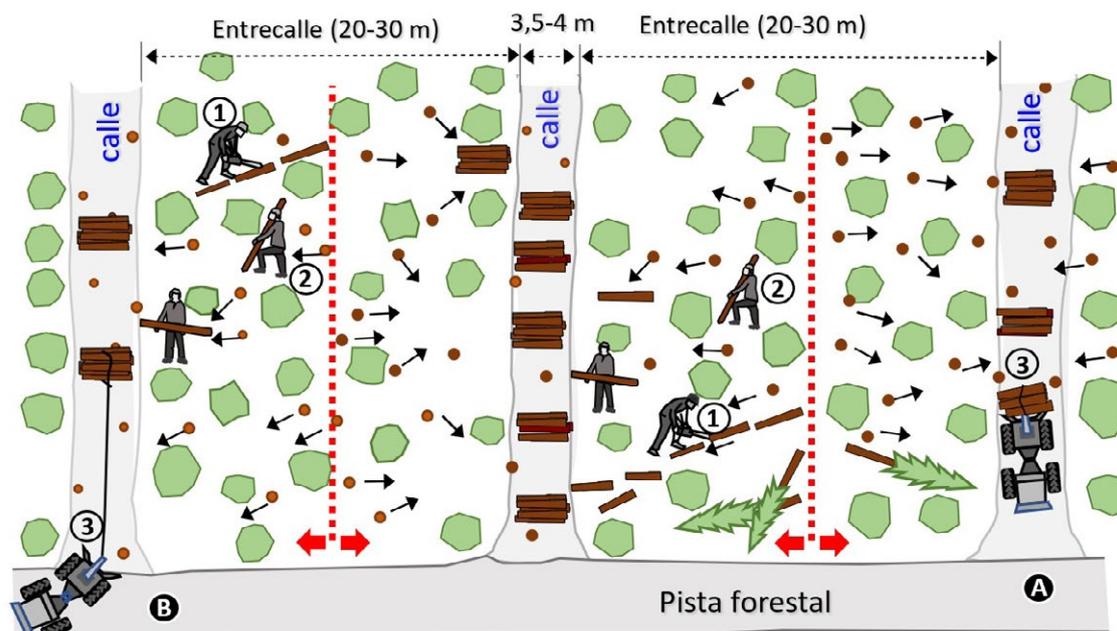
**Figura 11.17.** Esquema de trabajo en la ejecución de cortas selectivas por el método de madera corta y uso en el desembosque de tractor autocargador o tractor agrícola adaptado como autocargador. Las flechas representan el sentido de apeo para que tras el procesado (1), la posterior reunión (2) se haga a la menor distancia posible. Las pilas se forman a ambos lados de las calles y posteriormente el autocargador (3) circulará por ellas para realizar el desembosque (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).

Las calles consisten en la corta sistemática del arbolado en una anchura de 3,5-4 m para permitir la circulación de los tractores forestales en el desembosque. En terrenos con pendientes mayores del 10% las calles deben estar dispuestas según la línea de máxima pendiente, pero con pendientes menores pueden ser oblicuas, dependiendo de la configuración de la finca objeto del aprovechamiento.

Los motoserristas tirarán selectivamente aquellos árboles marcados en la clara hacia la calle más próxima para que posteriormente, tras su desrame y tronzado, sean trasladados a los bordes de las calles para ir disponiendo las pilas de forma perpendicular a estas. El tamaño de la pila será como mínimo aquel que permita una carga de la sección de la grapa del tractor, que para trozas de 2,5 m oscila entre 0,4 y 0,7 m<sup>3</sup>.

En el caso de realizar el desembosque con skidder, la distancia entre calles suele ser mayor que en el caso del autocargador, pues el tamaño de pila que debe formar es mayor (1,5 a 3 m<sup>3</sup>), lo que supone un mayor esfuerzo por parte del apilador al recorrer más distancia con la troza, por

lo que conviene que la madera de las pilas proceda de la misma curva de nivel. Por tanto, la distancia entre calles se debe situar entre los 20 y los 30 m, con el mismo criterio que se comentó anteriormente, es decir, en cortas de peso alto menor de 25 m y en las de peso bajo mayor de 25 m (Vignote et al. 2001). El motoserrista procede igual que en caso anterior, pero los apiladores en este caso forman las pilas en el centro de la calle, colocando dos o tres trozas en la dirección de la máxima pendiente, para facilitar la introducción del cable, y el resto en dirección perpendicular. La pila se sujetará con estacas clavadas en la parte aguas abajo de la ladera o sobre tocones de 1,5 m de algún árbol apeado en la calle (A en figura 11.18).



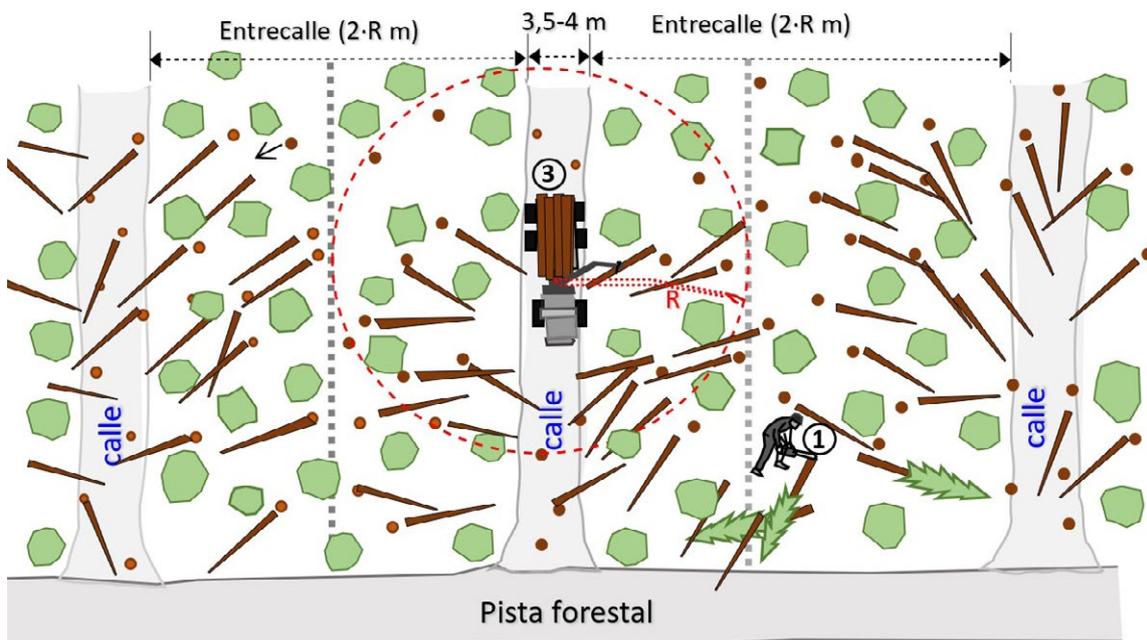
**Figura 11.18.** Esquema de trabajo en la ejecución de cortas selectivas por el método de madera corta y uso en el desembosque de skidder o tractor agrícola adaptado con cabrestante. Las flechas representan el sentido de apeo para que tras el procesado (1), la posterior reunión (2) se haga a la menor distancia posible. Las pilas se forman en el centro de las calles. En el caso A, el skidder puede entrar a monte (3) y circular por las calles para realizar el desembosque. En el caso B, el skidder cablea las pilas de madera desde pista (3) sin entrar a monte (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).

En determinadas ocasiones, el skidder, debido a la escabrosidad o cuando las pendientes son mayores del 40-50%, no puede entrar al monte por lo que realizaría el cableo de las pilas de madera desde pista (B, en figura 11.18). Se debe cablear desde pistas situadas aguas arriba, cableo hacia arriba, en distancias no superiores a 70-80 m, por lo que debe haber una red de pista suficiente (Vignote et al. 2001). El arrastre de las pilas causa un daño importante al suelo en las calles por donde se arrastra, por lo que sólo se deberá aplicar cuando no existe otra alternativa viable.

**Método de fuste entero o madera larga:** cuando se ejecutan cortas selectivas y el método de aprovechamiento es madera larga o fuste entero y se emplea como medio de desembosque el autocargador (FE-0-AT, ML-0-AT), se trabaja por franjas cuya anchura debe ser como mucho el doble de la longitud máxima de la grúa ya que en este caso no es posible la reunión manual. Al

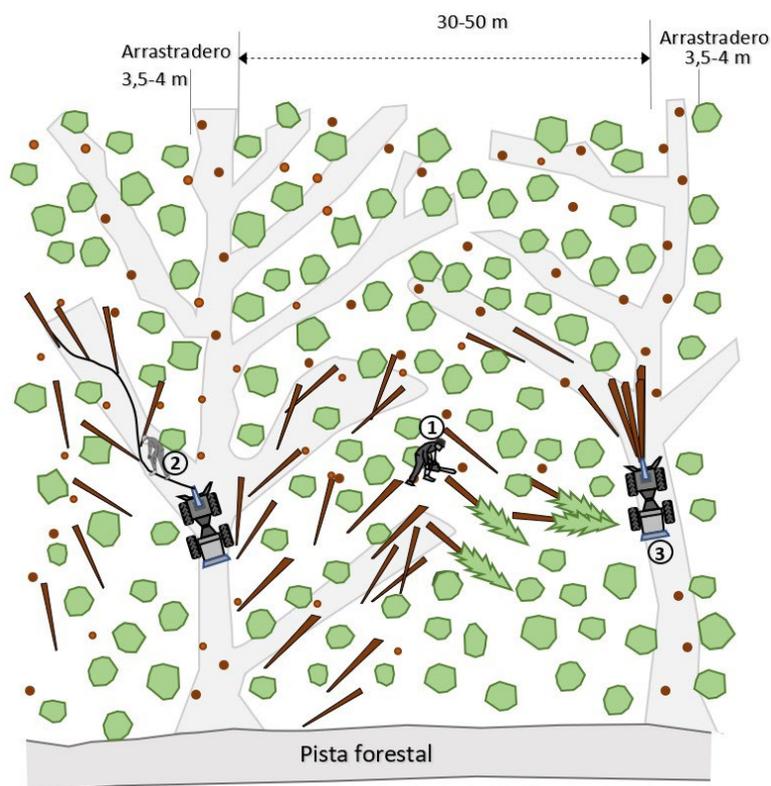
final de cada franja se debe abrir una calle de desembosque de 3,5-4 m de anchura por donde circularán los tractores de desembosque (figura 11.19).

Los motoserristas tirarán los árboles para que estos queden lo más reunidos que sea posible y, tras su posterior desrame y despuntado, serán cargados con la grúa del autocargador. El empleo del autocargador como medio de desembosque es adecuado en caso de primeras claras, árboles no son muy altos, o en el caso de madera larga y con pendientes menores del 30-40%. En caso contrario se deberán ejecutar los siguientes sistemas que requieren el uso del skidder con cabrestante como medio de desembosque (figuras 11.20 y 11.21).



**Figura 11.19.** Esquema de trabajo en la ejecución de claras por el método de fuste entero o madera larga y uso en el desembosque de autocargador o tractor agrícola adaptado. El motoserrista (1) tirará los árboles hacia el lugar más próximo a las calles de desembosque. Posteriormente el autocargador circulará por las calles recogiendo con la grapa de la grúa los fustes a un lado y otro de la calle (3) (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).

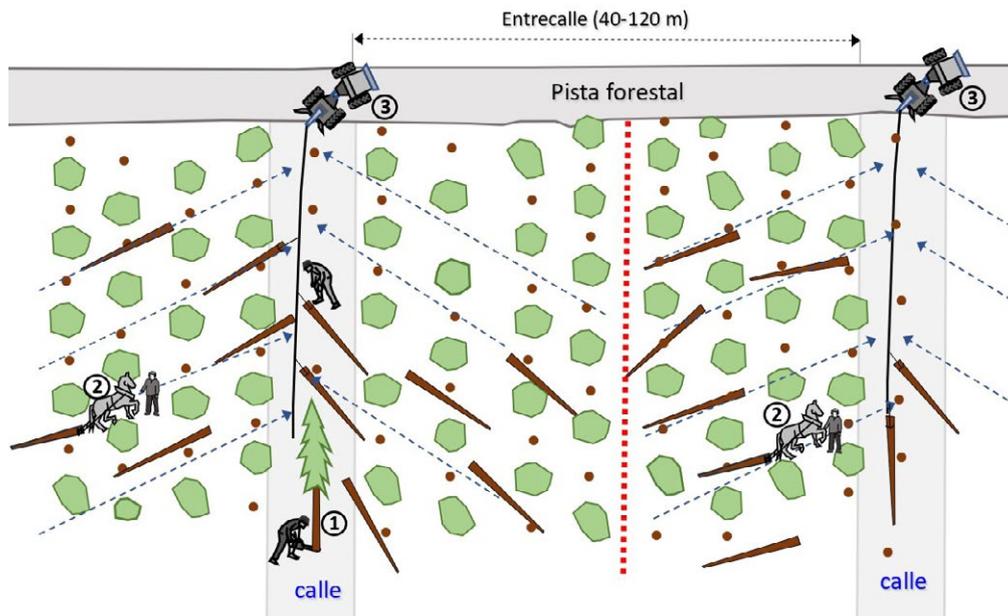
Cuando los árboles son muy altos o el monte presenta alta escabrosidad y/o la pendiente es superior al 30-40%, el medio de desembosque a emplear debe ser un skidder con cabrestante. En el caso de fuste entero o madera larga es necesario llevar a cabo la reunión directa de las piezas de madera con el cable del skidder o eventualmente con ayuda de tracción animal (FE-0-SK, ML-0-SK). En este caso se trabajará por franjas de mayor anchura que en el supuesto anterior, de 30-50 m, en cuyo extremo se trazarán arrastraderos más o menos paralelos, por eliminación sistemática del arbolado, de los cuales saldrán otros arrastraderos secundarios en una conformación similar a “espina de pescado” (figura 11.20).



**Figura 11.20.** Esquema de trabajo en la ejecución de claras por el método de fuste entero o madera larga y uso de skidder o tractor agrícola con cabrestante. El motoserrista (1) tirará los árboles hacia el lugar más próximo a los arrastraderos. Posteriormente el skidder circulará por estos reuniendo los fustes con el cable por arrastre directo (2), para posteriormente llevar a cabo el desembosque (3) (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).

Con pendientes superiores al 50-60% y/o cuando la escabrosidad impide la circulación de tractores por el monte, se deberá cablear desde pista. En este caso se trabajará igual que en el supuesto anterior por franjas con una anchura de entre 40 y 120 m, al final de las cuales se realizará una eliminación sistemática del arbolado para que sirvan de calles de arrastre (figura 11.21). La anchura tan variable de las franjas de trabajo la marca la utilización o no de medios de reunión de la madera. En el caso de llevar a cabo la reunión con el propio cable de arrastre, la separación entre calles será como máximo 40 m (distancias máximas de reunión de 20 m) y con separaciones de hasta 120 m usando tracción animal para la reunión (Apffel 2011).

En este esquema de trabajo los motoserristas irán tirando los árboles hacia el arrastradero más próximo intentando que queden lo más reunidos que sea posible, y posteriormente tras el desrame y despuntado, se reunirán hacia los arrastraderos con ayuda de la tracción animal. En el caso de llevar a cabo la reunión con el propio cable de arrastre, la separación entre calles sería como máximo de 40 m, como se ha comentado. Una vez enganchados suficientes fustes al cable de arrastre, el tractorista activará el cabrestante y arrastrará estos hasta la pista, donde serán recogidos por un camión para su transporte a destino. Cuando la pista no es accesible a camión, el skidder continuará el desembosque, esta vez por semiarrastre, hasta un cargadero donde si pueda acceder un camión (figura 11.21).



**Figura 11.21.** Esquema de trabajo en la ejecución de claras en terreno de mucha pendiente por el método de fuste entero y skidder cableando desde pista. El motoserrista (1) tirará los árboles hacia el arrastradero más próximo. Equipos de caballos y/o mulas (2) reunirán los fustes hasta este, donde serán enganchados al cable y posteriormente el tractorista activará el cabrestante para su desembosque (3) (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).

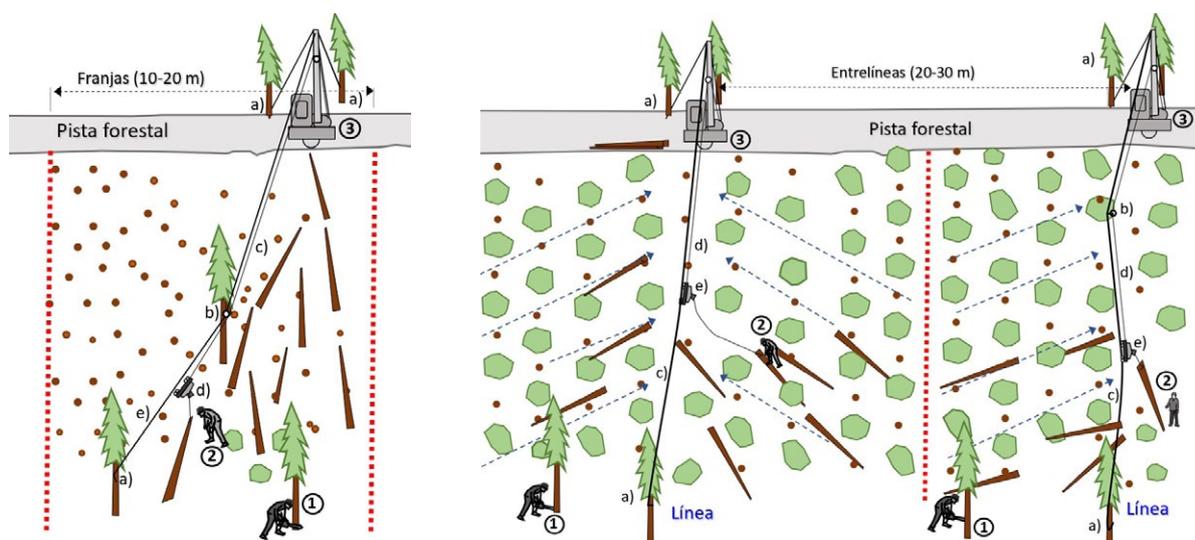
### 3.1.2. Sistemas manuales que emplean cable grúa

Los sistemas que emplean cable grúa son adecuados para desemboscar zonas de corta en áreas remotas sin pistas forestales, en zonas con orografía muy compleja, con pendientes superiores al 40-50%, zonas con encharcamiento o zonas que son muy sensibles ambientalmente. También puede ser la alternativa más adecuada en aprovechamientos madereros extraordinarios en áreas o zonas devastadas por incendios forestales, temporales o plagas y enfermedades.

Como ya se ha visto con detalle en el capítulo 9, la tipología y clasificación de los cables grúa es muy amplia, y así atendiendo a la envergadura y complejidad de la instalación se podía hablar de cables grúas pesados, medianos y ligeros. Los cables grúa ligeros, con longitudes de tendido que no suelen superar 200-300 m de longitud, desembosque por semiarrastre y con un número mínimo de apoyos intermedios (o sin ellos) y anclajes a poca altura, son la opción con más aplicación en nuestro país. La razón es que su complejidad, costes y tiempo de instalación son moderados por lo que su movilidad es relativamente rápida y son, por tanto, la opción recomendable en cortas parciales en terrenos difíciles (Tolosana et al. 2000). Se trata de equipos que suelen tener un mástil de 5 a 7 m de altura, un motor que suministra una potencia de 35 a 50 kW y pueden desplazar cargas útiles de 1000 a 1500 kg (ARMEF 1993).

La operación con cables grúas ligeros con carros simples, que no permiten la extensión del cable que cuelga de este, sólo permite recoger cargas justo debajo del cable portador en una franja de 1-2 m de ancho a cada lado. Por tanto, este tipo de carros limitan mucho la eficiencia

de la operación con cables grúa. En este sentido es recomendable el uso de carros con posibilidad de extensión lateral del cable, bien sea manualmente o asistida por un motor montado en el propio carro (Varch et al. 2021). Este tipo de carros permite extraer los fuste o árboles situados a ambos lados de esta franja extendiendo lateralmente el cable con gancho que cuelga del carro en forma de “espina de pescado” y enganchando las eslingas con chocker o las cadenas enganchadas a la carga, como se muestra en la figura 11.22 (sistemas FE-0-CA, ML-0-CA o AC-0-CA). En este momento el operario avisa por radio al operador del cable grúa quien activa el cabrestante que enrolla el cable tractor arrastrando la madera hasta la vertical del carro de carga, momento en el que la carga puede ser ya desemboscada en semiarrastré hasta la zona de acopio.



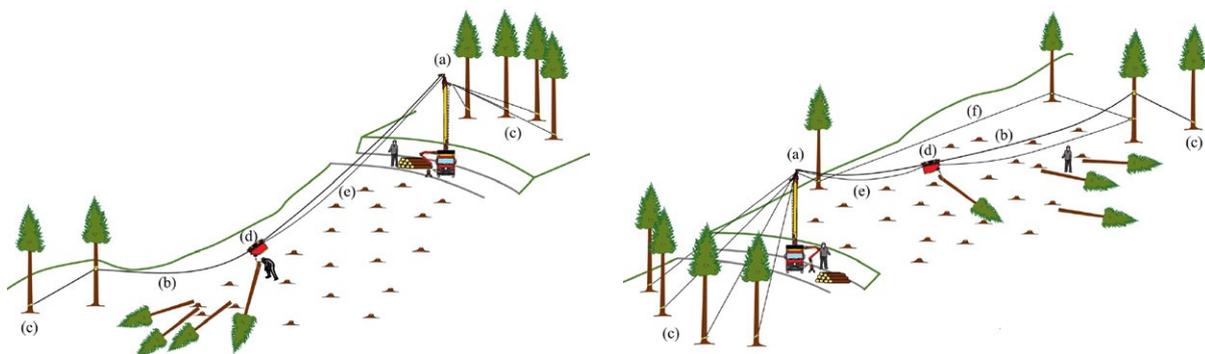
**Figura 11.22.** Esquema de trabajo en la ejecución de corta a hecho (izquierda) y claras (derecha) en terreno de mucha pendiente por el método de fuste entero y uso de cable grúa ligero cableando desde pista (sistema FE-0-CA en tabla 11.1). El motoserrista (1) tirará los árboles hacia la zona más próxima a donde se ha tendido la línea de cable. Un operario estirará el cable de recogida de cargas hasta los árboles o fustes a extraer (2) y se reunirán con este cable hasta la calle y posteriormente se llevará a cabo su desemboscado activando el cable tractor del cable grúa (3). Donde: a) anclajes, b) apoyo intermedio, c) cable tractor, d) carro y e) cable portador (adaptado de Tolosana et al. 2000).

La superficie desemboscada en cada línea de cable depende de la longitud de esta y de la anchura que es posible abarcar con la extensión del cable del carro. La longitud viene marcada por la separación entre pistas forestales dispuestas más o menos paralelas a las curvas de nivel en las laderas. Por su parte, la anchura de la zona a desemboscar en cada línea depende de la distancia máxima a la que podemos extender el cable de elevación a ambos lados de la vertical del cable portador. Esta anchura depende de las condiciones fisiográficas, la densidad de corta, el tamaño del equipo, los daños del arrastre a la vegetación remanente, etc.; variando desde 5-10 m hasta los 20-25 m de extensión a ambos lados de la calle de 3-4 m sobre la vertical del cable portador (ARMEF 1993). Así para una longitud de línea de cable de 300 m, 1 ha de desemboscado se cubre extendiendo y recogiendo carga a 16,7 m

a ambos lados de la vertical de cable portador. En el caso de emplear tracción animal para aproximar los fustes a la línea de cable se pueden considerar separaciones entre calles de cable de hasta 120 m.

La disposición en planta de las líneas de cable, como ya se explicó en el capítulo 9, pueden ser paralelas o convergentes hacía arriba o hacia abajo en la ladera. La disposición de líneas de cable paralelas requiere la presencia de pistas más o menos paralelas en la parte superior e inferior de las líneas y precisan de mayor número de desplazamientos del equipo de cable para cubrir la misma zona de desembosque en relación con las líneas convergentes o divergentes (ver apartado 6.1 del capítulo 9).

Los sistemas de cable aéreo pueden actuar en subida, subiendo cargas de la parte baja de la ladera a una pista situada en la parte más alta (figura 11.23, izquierda) o en bajada, descendiendo troncos desde la parte alta de una ladera hasta una pista situada en la parte más baja (figura 11.23, derecha), actuando en este caso el cable tractor como freno para el desplazamiento de la carga. Los cables grúas que actúan solamente en subida, pueden ser más simples y baratos ya que el carro del que sale el cable portante de la carga puede retornar por gravedad (bicables). En cambio, los cables grúas que operan también desde abajo necesitan disponer de un cable adicional para el retorno del carro (tricables todo terreno).



**Figura 11.23.** Diagrama de trabajo de un sistema de aprovechamiento maderero con uso de cable grúa y método de árbol completo (sistema AC-0-CA de tabla 11.1). Equipo bicable trabajando en ascenso (izquierda) y tricable trabajando en descenso (derecha). El motoserrista (1) tirará los árboles hacia la zona más próxima a donde estará ubicada la línea de cable. Donde: a) equipo cable grúa, b) cable portador, c) anclajes, d) carro con cable y gancho final para recoger la carga, e) cable tractor y f) cable de retorno (Fuente: adaptado de Varch et al. 2021).

Por regla general, el desembosque con cable aéreo no es un método especialmente económico, por lo que su utilización a menudo se justifica por el valor de la madera, por el valor o fragilidad ambiental de la zona a aprovechar, que podría sufrir daños importantes si se desemboscara con otros medios, y/o por la necesidad urgente de extraer la madera (zonas afectadas por incendios forestales, tempestades y plagas o enfermedades).

### 3.1.3. Sistemas manuales que emplean carroceta

Los camiones todoterreno de pequeño tamaño (conocidos como carrocetas) son un medio utilizado tradicionalmente en terrenos abruptos en el norte de España en la explotación por cortas a hecho (o casi a hecho) de pequeños rodales o lotes de madera de frondosas con árboles de considerable tamaño (principalmente castaño y roble). Las razones de su empleo han sido: i) la alta capacidad de tracción de este vehículo y ii) la gran altura de despeje y el poco ancho de vía (anchura exterior máximo de las ruedas traseras de 1,65 m) que presenta. Estas dos razones han convertido a la carroceta en el único medio viable para realizar el desemboque de madera en zonas remotas del norte de España con pistas de mala calidad y sobre todo muy estrechas.

Un sistema utilizado consiste en el empleo de cable automotriz y carroceta (MC-0-CT1). Tras el apeo y procesado de forma manual con motosierra, la reunión se lleva a cabo cableando con equipos semipesados que transportan las carrocetas y que algunas veces son construidos en talleres locales. El esquema de trabajo es similar a lo que se puede ver en la figura 11.15 (derecha), pero en este caso la saca (reunión y desembosque) es por arrastre directo de cable automotriz. Posteriormente el desembosque se completa hasta cargadero de camión con otra carroceta, por lo que en estas situaciones el desembosque constaría de dos fases: la primera cableo por equipo de cable automotriz y la segunda, desembosque hasta cargadero de camión de transporte, con carroceta.

Otra forma de proceder, en lotes con árboles que no sean de mucho tamaño, es cableando directamente con el cabrestante mecánico que incorporan las carrocetas IPV y que va acoplado a la caja de cambios. Esto les permite el cableo lateral de las piezas de madera y posteriormente las propias carroceas actúan como vehículo para la saca de la madera (figura 11.24). Las carrocetas de fabricación actual (Uro) sólo incorporan un cabrestante frontal hidráulico que es útil para desatascar el vehículo, pero menos para cablear madera. En este caso su principal utilidad es como alternativa al tractor autocargador para pequeños lotes de madera en zonas con pistas de acceso muy estrechas y en mal estado (sistema MC-0-CT0).



**Figura 11.24.** Empleo de camión todoterreno de pequeño tamaño (carroceta) de la marca IPV en el desembosque de madera de pino (izquierda) y de frondosa (derecha) (Fotos: R. González Fernández).

### 3.2. Sistemas mecanizados (Grupo 2)

La mecanización de todas las operaciones forestales ha sufrido un fuerte impulso en las últimas décadas debido a las siguientes razones: i) la existencia en el mercado de una amplia gama de máquinas y equipos que se adaptan prácticamente a todas las situaciones, ii) la búsqueda de nuevos métodos de explotación que faciliten el trabajo y reduzcan el riesgo de accidentes, iii) la dificultad creciente para encontrar motoserristas profesionales para realizar las operaciones manuales, iv) la mayor rentabilidad respecto a la elaboración manual (reducción de costes y aumento de la productividad) y v) la mayor facilidad para la gestión del personal por parte de las empresas.

Denominamos sistemas mecanizados a aquellos en los que el apeo y/o procesado del árbol se realiza de forma mecanizada. Aquellos sistemas en los que tanto el apeo como el procesado se llevan a cabo de forma mecanizada se denominan “completamente mecanizados” y pueden ser realizados con una única máquina (cosechadora forestal) o con dos máquinas, mecanizándose por un lado el apeo con una taladora-apiladora y por otro el procesado con una cosechadora forestal (figura 11.25). Por su parte, la variante parcialmente mecanizada se refiere al sistema en el que el apeo se lleva a cabo de forma manual con motosierra, pero el procesado se mecaniza con una cosechadora que circula por el monte o bien actúa desde una pista.



**Figura 11.25.** Sistema completamente mecanizado (MC-3-AT) en un aprovechamiento de eucalipto en el norte de España. La alta productividad de la taladora apiladora de disco (1), requiere de dos cosechadoras (2) para realizar el procesado (en este caso incluye descortezado) y dos autocargadores para el desembosque (3) (Foto: Maderas Paco Cacharolo).

Los sistemas mecanizados son los actualmente dominantes en España en la ejecución de claras en masas de coníferas y en los aprovechamientos de plantaciones de eucalipto en el norte del país. En las choperas, aunque prevalece el apeo y procesado manual, también cada vez es más frecuente su mecanización con el empleo de cosechadoras forestales o taladoras-apiladoras seguidas de cosechadora (Kollert 2018).

La mecanización del apeo y procesado, siempre y cuando haya equipos disponibles, viene condicionada fundamentalmente por tres aspectos: i) tamaño y rectitud de los troncos de los árboles (deben ser rectos y con diámetros normales menores de 60 cm), ii) la orografía (terreno poco rugoso y pendiente menor del 30-40%) y el iii) tamaño del aprovechamiento y/o volumen de corta (necesarios para rentabilizar el alto coste de la maquinaria de apeo y procesado).

Los medios o equipos usados en los sistemas mecanizados son (figura 11.26):

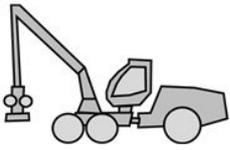
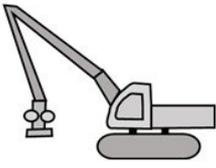
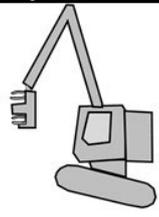
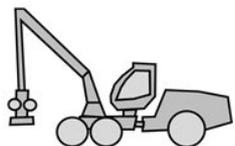
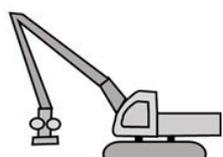
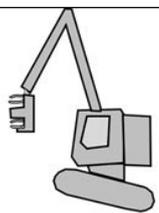
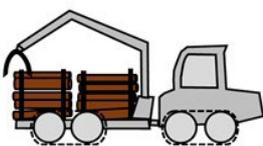
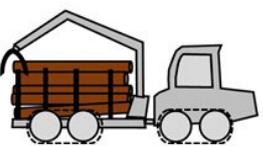
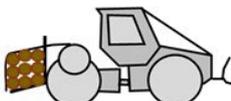
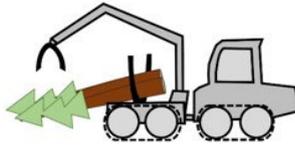
	Madera corta	Fuste entero/madera larga/árbol completo		
Apeo	 Manual con motosierra	 Mecanizado con cosechadora	 Mecanizado con cosechadora sobre retroexcavadora	 Mecanizado con taladora-apiladora
Procesado y reunión	 Mecanizado con cosechadora	 Mecanizado con cosechadora sobre retroexcavadora	 Reunión con taladora-apiladora	
Desembosque	 Con autocargador	 Con autocargador	 Con autocargador	
	 Con skidder suspendida	 Con skidder por arrastre	 Con skidder (grapa y pluma) por arrastre	
Sistemas de la tabla 13.1		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Madera corta: MC-1-AT, MC-2-AT, MC-3-AT</li> <li>• Madera larga, método mixto: ML-1-AT, ML-2-AT, ML-3-AT</li> <li>• Fuste entero: FE-2-SK, FE-3-SK</li> <li>• Árbol completo: AC-2-SK, AC-2-AT</li> </ul>		

Figura 11.26. Máquinas y equipos usados en las distintas operaciones con los sistemas mecanizados.

- **Apeo:** manual con motosierra, cosechadora forestal propiamente dicha, cosechadora forestal sobre retroexcavadora, taladora-apiladora.
- **Procesado y reunión:** cosechadora forestal propiamente dicha, cosechadora forestal sobre retroexcavadora, taladora-apiladora (sólo reunión).
- **Desembosque:** tractor autocargador (o tractor agrícola adaptado), skidder (o tractor agrícola con cabrestante).

### Condiciones de utilización

- El uso de máquinas de ruedas está limitado por pendientes menores de un 40%.
- En pendientes elevadas (40-60%), se pueden usar máquinas de cadenas con cabinas autonivelantes o bien acudir al cable grúa. La retroaraña dotada de cabezal cosechador puede actuar hasta pendientes del 70-80%.
- Principalmente para masas de coníferas y de eucalipto o chopo y de difícil aplicación a otras frondosas.
- No es aplicable a árboles de gran tamaño (> de 60 cm de diámetro normal).

### Ventajas

- Alta productividad y sistemas muy bien conocidos en coníferas y en eucalipto.
- Los restos de corta, si no se van a extraer, se depositan sobre las calles por donde circularán las máquinas, lo que facilita las operaciones de limpieza, limita los impactos sobre el terreno y reduce los costes de reforestación posterior en el caso de cortas de regeneración.
- Fácil de organizar y planificar.

### Inconvenientes

- Equipos con alto nivel de inversión financiera.
- El uso de las cosechadoras y las taladoras-apiladoras están limitadas por las pendientes del terreno y por el tamaño del arbolado.
- El procesado con cosechadora requiere que los troncos tengan bastante rectitud (dificultad de aplicación en algunas frondosas como los robles).

- Si no se planifica bien o en el caso de suelos sensibles o húmedos, el desembosque puede causar impactos importantes sobre el suelo.

### 3.2.1. Sistemas parcialmente mecanizados

Se trata de sistemas que se usan con bastante frecuencia en los aprovechamientos de montes de eucalipto, y en menor medida en las de pino, en Galicia y la Cornisa Cantábrica. Se usan para hacer tanto madera corta como madera larga, que son los métodos de aprovechamiento más frecuentes (sistemas MC-1-AT y ML-1-AT), aunque pueden ser usados igualmente para fuste entero (sistema FE-1-SK).

Los equipos que se usan en estos sistemas de aprovechamiento constan de uno o dos motoserrietas para el apeo, una cosechadora forestal para el procesamiento y un autocargador para el desembosque.

#### 3.2.1.1. Variante 1: Cosechadora circula únicamente por pistas forestales

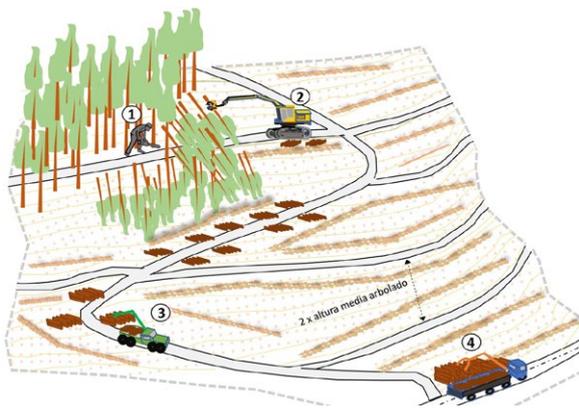
Se aplicará exclusivamente con cortas a hecho y se podrá emplear con el método de aprovechamiento de madera corta o madera larga. Se trata de un esquema que se va a utilizar en terrenos con bastante pendiente (por encima del 30-40%) y/o alta escabrosidad, donde la circulación de la maquinaria por el monte es peligrosa o imposible. Para ello es necesario abrir pistas forestales con el típico trazado en “zeta” que permite cubrir la zona a cortar de forma más o menos uniforme. La separación entre pistas debe ser como máximo el doble de la altura media del arbolado para que el brazo de la cosechadora pueda alcanzar desde la pista todos los árboles para su posterior procesamiento en ella y apilado en un lateral o en la propia pista. La cosechadora forestal está formada por un cabezal multifunción, que frecuentemente va instalado sobre la punta de grúa de una máquina retroexcavadora de cadenas adaptada para los trabajos forestales (figura 11.27).



**Figura 11.27.** Máquina retroexcavadora de cadenas adaptada para el trabajo forestal y dotada de cabezal cosechador en punta de grúa y cabrestante en el brazo de elevación (Fotos: M. Barrio Anta).

## Organización y procedimiento operativo

Se trata de un sistema que se aplica únicamente con cortas a hecho y con los métodos de aprovechamiento de madera corta (MC-1-AT) o madera larga (ML-1-AT). El motoserrista comienza el apeo dirigido de los árboles, empezando de abajo hacia arriba en la ladera, tirando los árboles en aquella dirección que facilite el trabajo posterior de la cosechadora (1 en figura 11.28 izquierda). En el caso de apearlo en máxima pendiente o en dirección oblicua, existe cierta reunión de los árboles debido al deslizamiento de estos sobre el terreno. La cosechadora forestal circula por las pistas abiertas, estaciona y comienza a extender la grúa para agarrar los árboles apeados, que serán arrastrados hasta el borde de la pista donde comienza a procesarlos dejando las trozas apiladas, siempre que la pendiente lo permita, al borde de la pista (si no tras la máquina) y los restos de ramas y/o corteza en el terraplén (2 en figura 11.28 izquierda). Posteriormente al procesado, comienza la fase de desembosque con tractor forestal autocargador que va a circular por las mismas pistas abiertas o acondicionadas para la cosechadora forestal (3 en figura 11.28 izquierda) y desemboscará la madera hasta cargadero de camión (4 en figura 11.28 izquierda).



**Figura 11.28.** Esquema de ejecución de sistema de aprovechamiento parcialmente mecanizado con máquinas circulando sólo por pistas forestales (izquierda) (adaptado de Vignote et al. 2001). Ejemplo de la aplicación del sistema, con alguna variante, ya que en la parte inferior derecha la cosechadora se ha desplazado por el monte debido a que la pendiente del terreno es favorable y a que la separación entre pistas es mayor del doble de la longitud de la grúa de la cosechadora (derecha) (Foto: M. Barrio Anta).

### 3.2.1.2. Variante 2: Cosechadora puede circular por todo el monte

En explotaciones de eucalipto y de pino mecanizables, cuando la cosechadora se puede mover por el monte, se suele utilizar el sistema completamente mecanizado que se explicará a continuación. Sin embargo, en ocasiones puede ser más adecuado y/o rentable el apeo con medios manuales, debido a la forma del arbolado (por ejemplo, chirpiales de eucalipto con muchos brotes por cepa que hacen inoperativo el trabajo de la procesadora a la hora de apear) o bien debido a la configuración del cabezal procesador (que no permita el giro completo para el apeo directo o que, debido a la situación de la cadena de corte, deje una altura de tocón inasumible si realiza el apeo directo). En este caso el apeo se realiza manualmente y el procesamiento posterior con la cosechadora. Se trata de un esquema que se aplica en cortas a hecho (excepcionalmente en claras) y

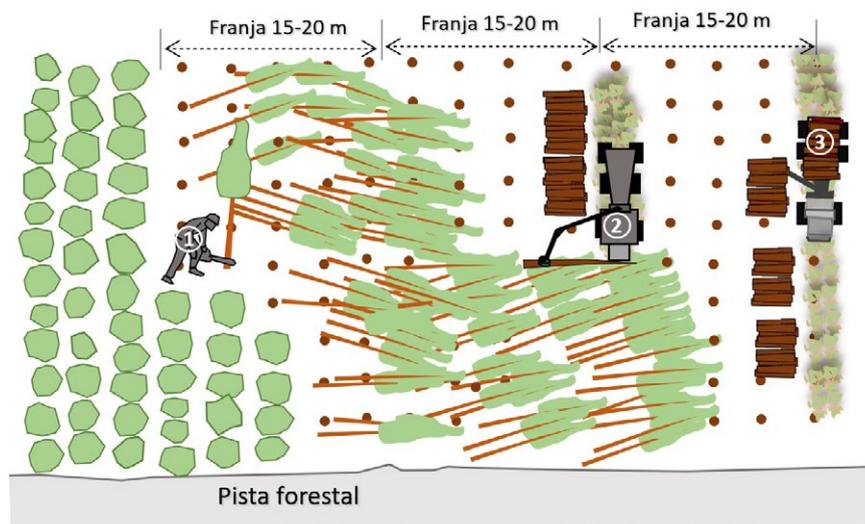
que se puede emplear tanto con el método de aprovechamiento de madera corta como con el de madera larga, sistemas de aprovechamiento (MC-1-AT y ML-1-AT) (figura 11.29).



**Figura 11.29.** Aplicación del sistema parcialmente mecanizado con el método de aprovechamiento de madera larga (ML-1-AT) en eucalipto. Apeo manual con motoserrista (izquierda), procesado con cosechadora sobre retroexcavadora adaptada (centro) y desembosque con autocargador (derecha) (Fotos: M. Barrio Anta).

### **Procesado con cosechadora sobre retroexcavadora**

El motoserrista apea los árboles en la misma dirección, que puede variar por zonas, para facilitar el trabajo de la cosechadora (1 en figura 11.30). Posteriormente la cosechadora trabaja por franjas separadas, como máximo el doble del alcance de la grúa (en la práctica 15-20 m), realizando el procesado y la reunión de la madera en cordones a los lados de la calle por la que circula (2 en figura 11.30). A continuación, entra en escena el autocargador, que circulará por las calles por donde pasó la procesadora realizando la carga de la madera y el posterior desembosque de la misma hasta cargadero de camión (3, en figura 11.30). Los restos de corta quedan en las calles para reducir el impacto sobre el suelo de la circulación de las máquinas. Sin embargo, en caso de realizar su extracción, por empacado o por astillado in situ con autocargador con astilladora integrada, estos deberán quedar en un lateral para evitar el ensuciado y su enterrado parcial.



**Figura 11.30.** Esquema de trabajo del sistema parcialmente mecanizado con por el método de madera corta, con uso de cosechadora forestal para el procesado y la reunión, y autocargador para el desembosque.

### 3.2.2. Sistemas completamente mecanizados

En los sistemas completamente mecanizados, tanto el apeo como el procesado y el desembosque se llevan a cabo de forma mecanizada. Dependiendo del número de máquinas que se usan en el apeo y procesado se puede hablar de dos sistemas diferentes: apeo y procesado con una única máquina (cosechadora forestal) y apeo y procesado con dos máquinas (apeo con taladora-apiladora y procesado con cosechadora). Además, en el caso del método de árboles completos (tradicional o partes de árbol), cuando se pretenden ejecutar claras cuyos árboles serán posteriormente astillados para uso energético, es frecuente usar una taladora apiladora para el apeo y hacer el desembosque posterior de los árboles o los trozos de estos con autocargador.

#### 3.2.2.1. Sistemas completamente mecanizados con cosechadora forestal

Es un sistema muy empleado en la ejecución de primeras y segundas claras en repoblaciones de coníferas en España, siempre y cuando las condiciones del terreno permitan el uso de máquinas de ruedas o cadenas. También se emplea con frecuencia en el aprovechamiento a matarrasa de eucaliptares en Galicia y la Cornisa Cantábrica en terrenos de poca pendiente (<20-30%) y/o en el que las máquinas pueden circular por el monte.

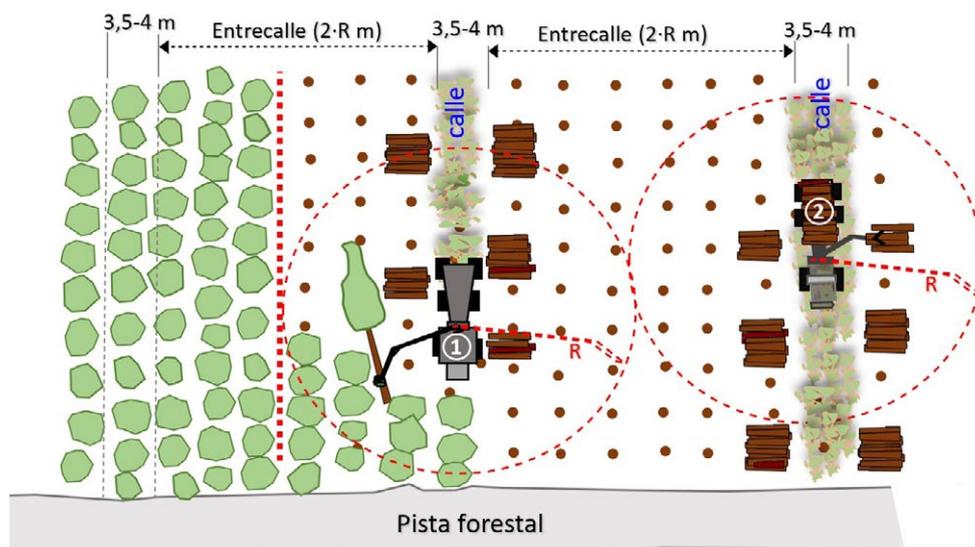
#### Organización y procedimiento operativo

**Cortas a hecho:** se trata de un procedimiento bastante empleado en las cortas a matarrasa de eucaliptares en el norte de España cuando la baja escabrosidad o la pendiente (menor del 20-30% habitualmente) permite la circulación por el monte de las cosechadoras forestales. Se puede utilizar con el método de aprovechamiento de madera corta o madera larga, sistemas de aprovechamiento MC-2-AT y ML-2-AT (figura 11.31).



**Figura 11.31.** Detalle del apeo y procesado mecanizado con cosechadora forestal en un aprovechamiento de eucalipto empleando el método de aprovechamiento de madera larga. Detalles de la carga de las pilas de madera formadas en autocargador (derecha). El sistema de aprovechamiento usado es el ML-2-AT (Fotos: E. García Coya).

La cosechadora forestal circulará por calles, separadas como máximo el doble del alcance de la grúa, y dispuestas en la dirección de máxima pendiente. Desde la calle, la cosechadora va alcanzando los árboles que apeará y posteriormente arrastrará con la grúa para procesarlos y apilarlos a ambos lados de la calle por donde circula (1 en la figura 11.32). Posteriormente entrará el autocargador que circulará por las mismas calles por donde pasó la cosechadora e irá cargando la madera para desemboscarla hasta cargadero de camión (2 en la figura 11.32). Igual que se comentó en el esquema de trabajo anterior, si los restos de corta se va a extraer para su uso energético, estos no deben quedar sobre la calle si no en un lateral al lado de las pilas de madera.



**Figura 11.32.** Esquema de trabajo de una corta a hecho completamente mecanizada por el método de madera corta, con uso de cosechadora forestal para el apeo, procesado y reunión y autocargador para el desembosque. Con el método de madera larga, el esquema sería similar pero la carga en el autocargador sería longitudinal y no transversal.

**Cortas selectivas:** el sistema completamente mecanizado (MC-2-AT o ML-2-AT) se emplea de forma habitual en la ejecución de primeras o segundas claras en montes de coníferas en España (figura 11.33). Las condiciones que permitirían su aplicación son (Vignote et al. 2001): i) baja escabrosidad y pendientes del monte suaves (menores del 25-30%) y ii) peso de la corta grande, usualmente por encima de los 80-90 m<sup>3</sup>/ha, aunque podría ser menor si hay dificultad para encontrar mano de obra.

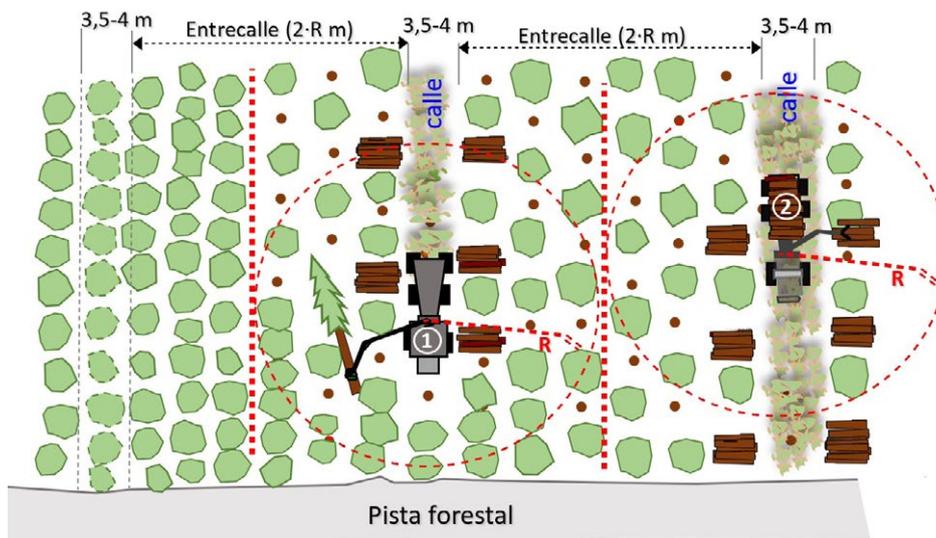
El procedimiento operativo es similar al de una corta a hecho, con la salvedad que en este caso la cosechadora sólo apeará los árboles señalados para su extracción en clara (figura 11.34). También se puede hacer la misma recomendación sobre los restos de corta; si estos no se van a extraer pueden quedar sobre las calles, pero si se va a llevar a cabo su extracción posterior, deben quedar acumulados en un lateral al lado de las pilas de madera.

En el caso de segundas claras en coníferas, la buena conformación y tamaño de los árboles y la demanda del mercado, pueden imponer la aplicación del método de fuste entero. En este caso la cosechadora actuaría de forma similar al esquema de la figura 11.34, aunque los fustes se

irían dejando a ambos lados de las calles y apilados de forma paralela a esta para su posterior extracción hasta cargadero por arrastre con skidder (sistema FE-2-SK).



**Figura 11.33.** Detalle del apeo, procesado y apilado mecanizado con cosechadora forestal en la ejecución de una clara en una plantación de pino silvestre (izquierda). Detalles de las pilas de madera en el lateral y restos de corta sobre la calle (centro). Desembosque con tractor agrícola adaptado para el desembosque de madera corta en remolque (derecha) (Fotos: M. Barrio Anta y F. Veiga Aguiar).



**Figura 11.34.** Esquema de trabajo de una clara completamente mecanizada por el método de madera corta, con uso de cosechadora forestal para el apeo, procesado y reunión y autocargador para el desembosque. Con el método de madera larga, el esquema sería similar pero la carga en el autocargador sería longitudinal y no transversal.

### 3.2.2.2. Sistemas completamente mecanizados con taladora-apiladora y cosechadora forestal

A diferencia de los sistemas anteriores, aquí se mecaniza por un lado el apeo y por otro el procesado de la madera. Se van a usar dos máquinas diferentes o dos cabezales diferentes acoplados sobre la punta de grúa de la misma máquina tractora (habitualmente retroexcavadora de obra pública adaptada).

El apeo se va a realizar con taladoras-apiladoras, que son máquinas de ruedas o cadenas con brazos de hasta 7-8 metros de alcance que en su extremo incorporan un cabezal dotado de un disco o cuchilla de corte que permite el apeo de árboles de hasta 55 cm de diámetro. Se trata de máquinas de alta potencia (300-320 CV) y gran peso que, junto con sistemas de autonivelado de la cabina, no en cabezales incorporados a retroexcavadora, aseguran su estabilidad sobre el terreno. Además, las taladoras-apiladoras incorporan rotación continua de la estructura superior (cabina y grúa) que le permite trabajar en el radio de alcance de la grúa sin necesidad de moverse y disponen además de brazos acumuladores y, por tanto, pueden talar hasta 2-3 árboles de 15-20 cm en el mismo ciclo de la grúa (Bravo y Ortuzar 2016).

Las taladoras-apiladoras pueden ser de cizalla o de disco. Las de cizalla son más robustas que las de disco y son la mejor opción en montes accidentados o con pedregosidad, aunque producen peor calidad de corte por lo que el rebrote posterior de las cepas puede ser peor en el caso de montes bajos. Las taladoras de disco presentan un rendimiento mayor, pero necesitan máquinas de más potencia y más caudal hidráulico por lo que el coste de adquisición es hasta un 30-40% mayor que el de una taladora de cizalla. Además, requieren que el monte sea poco accidentado y que haya mucho volumen de corta para rentabilizar la inversión. Los métodos de aprovechamiento habituales en estos sistemas son madera corta (MC-3-AT) y madera larga (ML-3-AT).

La razón actual de su uso es el aumento del rendimiento global del apeo, procesado y apilado ya que una máquina cosechadora dedica mucho tiempo al posicionado para apeo el árbol y luego también, una vez apeado este, en llevarlo a procesar a un lugar adecuado. Las taladoras apean de forma rápida el árbol, incluso varios en el mismo ciclo de corta (permiten acumular varios troncos) y los apilan de forma muy ordenada lo que mejorará sustancialmente el rendimiento del procesado posterior.

### Organización y procedimiento operativo

Se trata de un sistema que se aplica únicamente con cortas a hecho, siendo ya bastante frecuente su uso en cortas de eucaliptares en el norte de España (figuras 11.35 y 11.36).

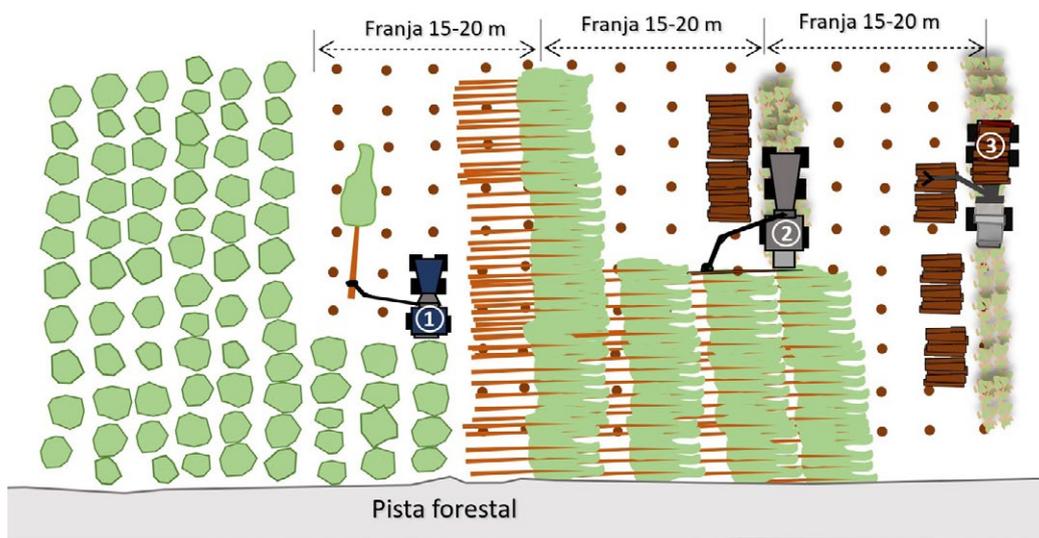


**Figura 11.35.** Detalle del apeo con cabezal talador-apilador de disco, seguido del procesado con cabezal cosechador. Ambos sobre máquinas base de ruedas Timber Pro (Fotos: Maderas Paco Cacharolo).



**Figura 11.36.** Aprovechamiento completamente mecanizado utilizando el método de madera larga y uso tres máquinas: taladora-apiladora para el apeo y apilado (1), cosechadora forestal para el procesado (2) (en este caso cabezal procesador instalado en punta de grúa de retroexcavadora adaptada), y autocargador para el desembosque (3). Sistema de aprovechamiento ML-3-AT (Foto: Forestal Ría de Abres).

La taladora se va moviendo por el monte y accede con el brazo de la máquina a la base del árbol a talar, una vez talado el árbol, si este es pequeño, es sujetado por los brazos acumuladores y el cabezal se dirige al siguiente árbol que es apeado (1 en figuras 11.36 y 11.37). Si los brazos acumuladores están llenos, el maquinista deposita los árboles de forma que todos vayan quedando tumbados en la misma dirección para facilitar el trabajo posterior de la procesadora.



**Figura 11.37.** Esquema de trabajo de un aprovechamiento completamente mecanizado por el método de madera corta, con uso de taladora-apiladora para el apeo (1), cosechadora forestal para el procesado y apilado de la madera corta (2) y autocargador para el desembosque (3). Con el método de madera larga, el esquema sería similar pero la carga en el autocargador sería longitudinal y no transversal.

Una vez realizado el apeo, la procesadora (o la misma máquina base con cabezal procesador) comienza el procesado de los árboles (desramado, tronzado y eventualmente descortezado si

el cabezal incorpora rodillos con cuchillas descortezadoras). Las trozas van quedando reunidas en cordones para facilitar el posterior desembosque, por lo que la reunión de la madera es simultánea al procesado. Los restos del desramado/descortezado pueden quedar en la calle por donde circula la máquina (2 en figuras 11.36 y 11.37), pero si van a ser extraídos posteriormente para uso energético, se deben acumular en montones separados de las trozas, evitando que queden sobre la calle. Cuando se dispone de suficiente madera procesada entra en monte el autocargador que llevará a cabo la carga, el desembosque y la descarga de madera en cargadero accesible a camión (3 en figuras 11.36 y 11.37).

En el caso de cortas finales en coníferas con buena conformación y tamaño moderado de los árboles que permita el uso de cosechadoras, la demanda del mercado puede imponer la aplicación del método de fuste entero (FE-3-SK). En este caso, la cosechadora actuaría de forma similar al esquema 11.37, aunque la extracción de los fustes hasta cargadero se haría por arrastre con skidder (preferiblemente de grapa y pluma).

### 3.2.2.3. Sistemas completamente mecanizados con taladora-apiladora

Este sistema completamente mecanizado está extendido en Norteamérica y también en varios países del norte de Europa en cortas finales con el método de árbol completo ya que permite un uso más pormenorizado de los árboles y, por tanto, generar un mayor valor añadido. Se asocia con el empleo de la taladora-apiladora para el apeo y de desembosque de árbol completo con grandes skidders de grapa y pluma (figura 11.26).

Se trata de un sistema de trabajo que se adecua al método de aprovechamiento de árbol completo o su variante de partes de árbol. En los últimos años ha comenzado a utilizarse en España en la ejecución de primeras claras en montes de coníferas (figuras 11.38 y 11.39) o en resalveos de montes de quercíneas para uso energético.



**Figura 11.38.** Tractor forestal Timberjack de seis ruedas motrices con cabezal talador-apilador de cuchillas (izquierda) y ejecución de una clara en pino radiata en Asturias empleando el método de árbol completo o partes de árbol con el equipo anterior (derecha) (Fotos: M. Barrio Anta).

En estos sistemas los árboles son extraídos hasta cargadero con skidder (sistema AC-2-SK), sobre todo si se trata de árboles grandes procedentes de segundas claras o cortas finales. Sin embargo, es habitual también el uso del autocargador cuando se trata de árboles de pequeña dimensión (habitual en primeras claras) o de partes de árbol (sistema AC-2-AT), por presentar un mayor rendimiento (figura 11.38, derecha y Figura 11.39, izquierda).



**Figura 11.39.** Detalle de la ejecución de una clara en una masa de pino radiata por el método de árboles completos, o partes de árbol, con el equipo de la figura 11.38. Aspecto de las calles y de la disposición de los árboles apeados, o partes de árbol, en los laterales en espera de su desembosque (izquierda). A la derecha, tránsito del autocargador por las calles recogiendo los trozos de árbol para llevarlos a parque de monte para su posterior astillado (Fotos: Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias y Tragsa).

En el parque de monte los árboles son astillados con astilladoras móviles o semifijas para el posterior traslado de la astilla a centro logístico de biomasa o directamente a una planta de destino para su uso energético (figura 11.40, derecha).

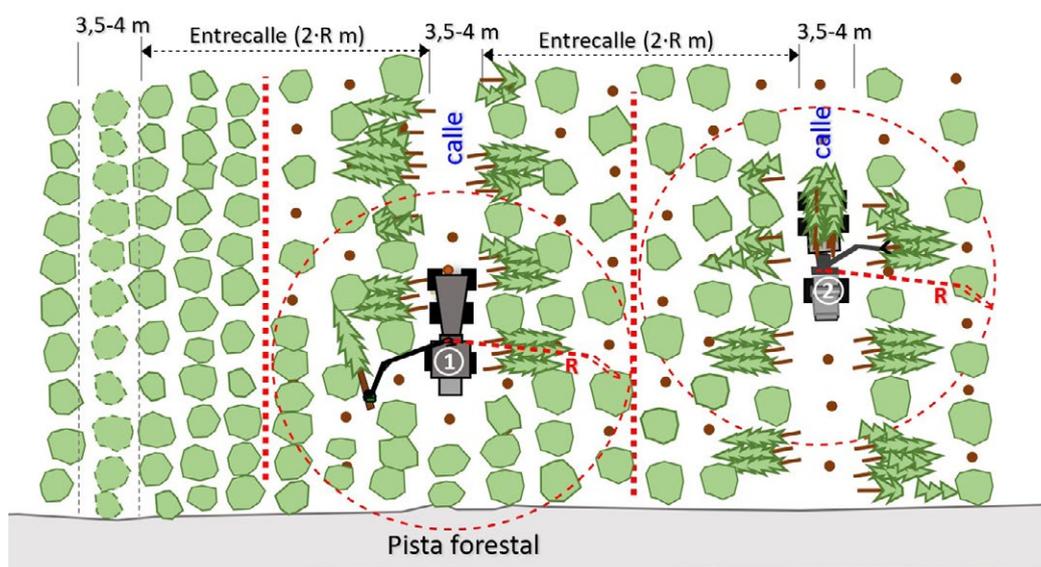


**Figura 11.40.** Desembosque de árboles (enteros o trozos) con autocargador (izquierda). Astillado en cargadero con una astilladora móvil (Fotos: Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias y Tragsa).

### Organización y procedimiento operativo

La zona de corta se organizará por franjas cuya anchura máxima será el doble del alcance máximo de la grúa de la taladora-apiladora para de esta forma garantizar que la máquina llega todos los árboles. Al final de la franja de trabajo se lleva a cabo la apertura de calles de 3,5-4 m de anchura (por corta sistemática del arbolado) por donde se moverá la taladora para ejecutar la corta selectiva de los árboles en zona entre calles (figura 11.41).

Las calles se trazarán siguiendo la línea de máxima pendiente, pudiéndose disponer en curvas de nivel o de forma oblicua en terrenos llanos o con muy poca pendiente, menor del 10%. La taladora se moverá por las calles apeando los árboles señalados en la clara y apilando los árboles en manojos en el lateral de las calles (1 en figura 11.41). Cuando los árboles son de mucha altura se suele dar un corte con la cizalla por la mitad, variante de partes de árbol, para facilitar el desembosque con autocargador (2 en figura 11.41).



**Figura 11.41.** Esquema de trabajo de un aprovechamiento de una clara completamente mecanizado por el método de árbol completo o partes de árbol, con uso de taladora-apiladora para el apeo y apilado (1) y autocargador para el desembosque (2).

### 3.3. Sistemas manuales especiales (Grupo 3)

Denominamos sistemas manuales especiales a aquellos en los que el apeo y procesado del árbol se realiza de forma manual con motosierra, la reunión de forma manual, con tracción animal o con el uso de pequeños cabrestantes portátiles y el desembosque con tracción animal, canaletas artificiales o pequeña maquinaria (figura 11.42):

- **Apeo y procesado:** manual con motosierra.
- **Reunión:** manual, tracción animal, cabrestante portátil.

- **Desembosque:** tracción animal, canaletas artificiales o pequeñas máquinas (mula mecánica, pequeños vehículos 4x4 o miniautocargadores). Puede ser necesario un segundo des-  
emboque hasta cargadero con autocargador o skidder.

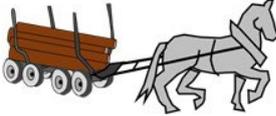
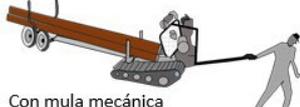
	Madera corta	Fuste entero/madera larga
Apeo y procesado		Manual con motosierra
Reunión	 Manual	 Con cabrestante portátil    Con tracción animal
Desembosque 1	 Canaletas  Con mula mecánica  Con pequeños vehículos 4x4  Con tracción animal	 Con mula mecánica  Con pequeños vehículos 4x4  Con tracción animal
Desembosque 2	 Con autocargador	 Con autocargador  Con skidder
Sistemas de la tabla 13.1		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Madera corta: MC-0-AN, MC-0-PQ, MC-0-CN</li> <li>• Madera larga: ML-0-AN, ML-0-PQ</li> <li>• Fuste entero: FE-0-AN, FE-0-PQ</li> </ul>

Figura 11.42. Máquinas y equipos usados en las distintas operaciones con los sistemas manuales especiales.

### Condiciones de utilización

- Todo tipo de masas y terrenos accesibles. Recomendable en suelos muy sensibles (limosos y/o suelos con hidromorfía).
- Tanto en coníferas como en frondosas cuando los volúmenes medios de los árboles no son elevados (menores de 1 m<sup>3</sup>).

- Terrenos con poca pendiente (a excepción del uso de canaletas).
- Recomendable en masas y áreas que presentan protección ambiental y se debe limitar mucho la perturbación ocasionada por el aprovechamiento.

### Ventajas

- Bajo impacto en los suelos, causando una compactación bastante baja.
- Adecuados en la ejecución de pequeños volúmenes de corta.
- Baja inversión financiera para las operaciones de apeo y arrastre.

### Inconvenientes

- Sistemas limitados a distancias de desembosque pequeñas.
- El volumen medio de los árboles debe ser inferior a 1 m<sup>3</sup>, si el método de aprovechamiento es el fuste entero.
- Dificultad para encontrar aprovechamientos donde usar alguno de estos equipos y que, por tanto, dificulta su adquisición por parte de las empresas.
- El coste total de desembosque suele ser alto por el bajo rendimiento y el alto coste del personal.

#### 3.3.1. Sistemas manuales especiales que emplean caballos o mulas

Los sistemas que emplean la tracción animal como medio de desembosque se caracterizan por el empleo del método de aprovechamiento de fuste entero o madera larga (en el caso de frondosas) y por la ejecución del apeo, desramado y descopado o despunte de los árboles de forma manual con motosierra (sistemas FE-0-AN y ML-0-AN).

Aunque es menos frecuente, también se utilizan con el método de árbol completo y con madera corta mediante el uso de carros (sistema MC-0-AN), en la ejecución de claras en masas forestales situadas en zonas ambientalmente sensibles (figura 11.43). Aunque en otros países del mundo se emplean también como medios de desembosque los bueyes o los elefantes, actualmente en España se usan solamente el caballo y la mula, antiguamente se usó bastante el buey debido a su disponibilidad. Debido al aumento de la mecanización forestal, su uso se ha reducido mucho en las últimas décadas, y está asociado con la disminución de daños ambien-

tales y con un mayor beneficio social de los aprovechamientos madereros (Vignote et al. 2001; Rodríguez et al. 2005).

Los animales son el medio que presenta menos limitaciones en los casos de accesibilidad difícil (terrenos irregulares con una topografía escarpada, de fuertes pendientes, con mucha pedregosidad o inaccesibles con la red viaria disponible) o en aprovechamientos de baja intensidad con dispersión espacial de las áreas de corta. En cualquier caso, este medio siempre está limitado por su capacidad de carga y la dimensión del producto que se extrae (Rodríguez et al. 2005).



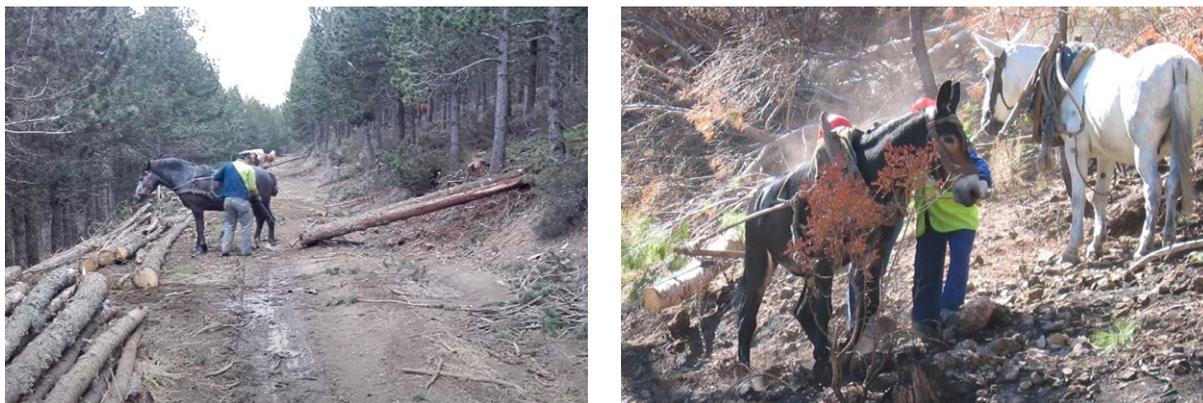
**Figura 11.43.** Ejemplo del uso de mulas (izquierda) y caballos (derecha) en la reunión y/o desemboque de madera (Fotos: M. Barrio Anta, izquierda y F. Veiga Aguiar, derecha).

### Organización y procedimiento operativo

En un aprovechamiento maderero, la tracción animal se puede emplear como medio para llevar a cabo la reunión de la madera, llevándose a cabo el desemboque por otro medio, o para hacer el desemboque completo (Rodríguez et al. 2005):

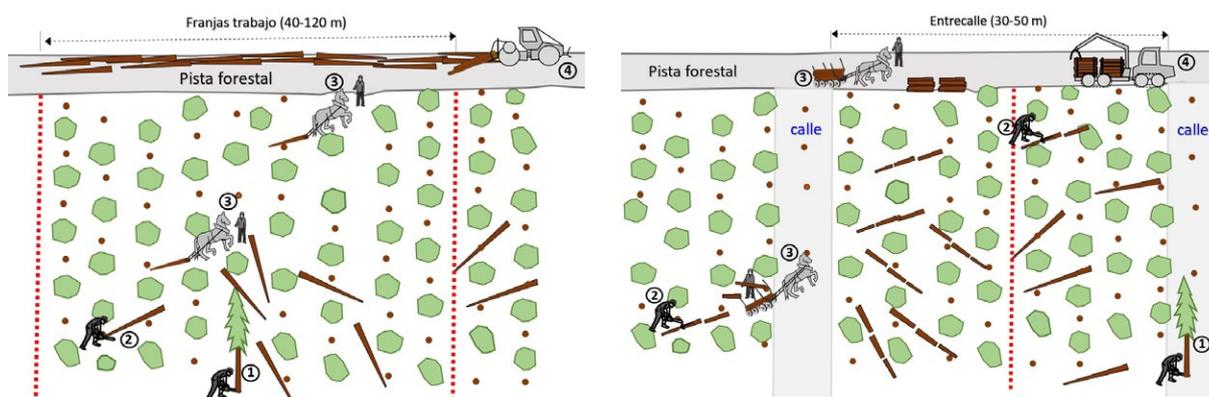
- **Únicamente reunión:** se utiliza cuando las distancias de desemboque son elevadas (mayores de 200 m), la zona es inaccesible a las máquinas y/o la madera está muy dispersa. En esta situación los fustes se reúnen hasta un punto (calle o arrastradero) desde donde la madera pueda ser posteriormente cableada, comentado al hablar de sistemas manuales clásicos (ver figura 11.21).
- **Desemboque completo:** es útil cuando las distancias de desemboque son pequeñas y la madera está dispersa, situación en la que la maquinaria trabajaría de forma poco eficiente (figura 11.44 y 11.45, izquierda).

En este apartado nos referiremos al uso de la tracción animal para llevar a cabo el desemboque completo hasta el borde de una pista o cargadero de camión.



**Figura 11.44.** Desembosque completo de fuste entero de pino hasta una pista accesible a camión en aprovechamientos madereros en Andalucía (Fotos: J.J. Jiménez Molina, izquierda y M. Barrio Anta, derecha).

Aunque la tracción animal en España se usa principalmente en el desembosque de fuste entero o madera larga en zonas o montes ambientalmente sensibles, también se puede usar en el desembosque de madera corta mediante el uso de remolques tirados por tracción animal (figuras 11.43 y 11.45, derecha), aunque en este caso la pendiente del monte debe ser reducida (menor del 10%). Si la densidad del arbolado permite la circulación de los animales, el apeo siempre debe comenzar en las áreas más lejanas de pista para evitar que los restos de corta estorben su trabajo. La excesiva densidad de la masa arbórea y el sotobosque pueden dificultar la movilidad de los animales por lo que puede ser necesaria una limpieza previa de las zonas de arrastre.



**Figura 11.45.** Esquema de trabajo en la ejecución de claras en terreno de bastante pendiente por el método de fuste entero (izquierda) y en terreno con poca pendiente y el método de madera corta (derecha) y uso de la tracción animal para el desembosque hasta pista. El motoserrista (1) tirará los árboles hacia el arrastradero o calle más próxima donde serán procesados (2). Equipos de caballos y/o mulas (3) desemboscarán los fustes o trozas cargadas en remolques hasta la pista accesible tractor forestal (4) que hará un segundo desembosque en el caso de que la pista no sea accesible a camión.

Los animales y los operarios se desplazan hasta la madera cortada, posteriormente el operario procede a enganchar la carga al animal, a menudo de una sola pieza (figura 11.45, izquierda).

En el caso del uso de remolques para madera corta o larga, el operario procede a cargar el remolque hasta completar la carga, momento en el cual inicia el desembosque (figura 11.45, derecha). El animal transporta la madera hasta el punto de descarga y se vuelve a iniciar el ciclo. Este punto de descarga puede estar al borde de una pista o en cargadero cercano en el caso de desembosque completo con este medio.

### 3.3.2. Sistemas manuales que emplean pequeñas máquinas

Los sistemas manuales que emplean pequeñas máquinas son aquellos en los que el apeo y procesado del árbol se realiza de forma manual con motosierra, la reunión se realiza de forma manual o con la ayuda de cabrestantes portátiles y el desembosque por medio de pequeñas máquinas (mula mecánica, pequeños vehículos 4x4 o incluso miniautocargadores) (sistemas MC-0-PQ, FE-0-PQ y ML-0-PQ) (figura 11.46). La mula mecánica es la máquina que simboliza las “pequeñas máquinas” o la “pequeña mecanización forestal” aunque no es la única en el mercado y existen otros equipos parecidos fabricados principalmente en países escandinavos y en Alemania (Pischedda 2009).



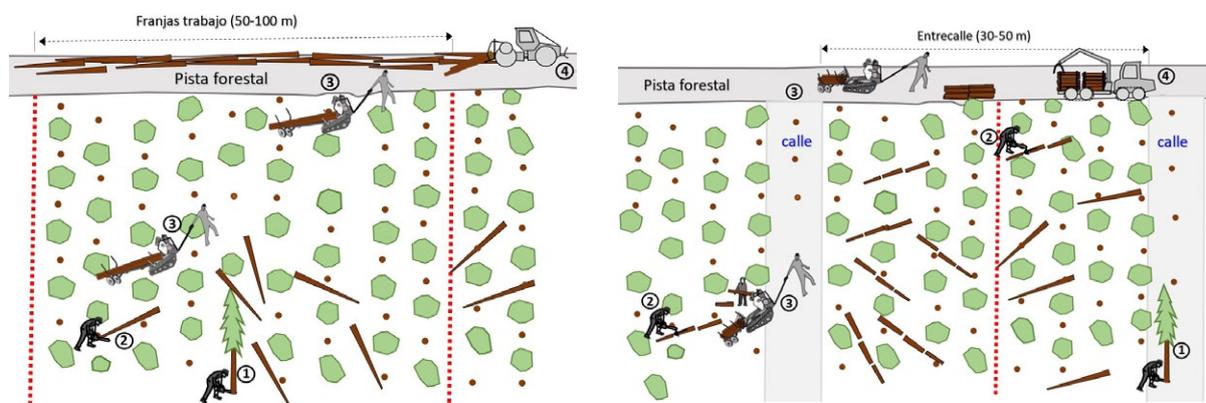
**Figura 11.46.** Ejemplos de pequeñas máquinas para realizar el desembosque de madera (Fotos: M. Barrio Anta).

### Organización y procedimiento operativo

La utilización de las pequeñas máquinas se puede emplear en terrenos con poca pendiente con los métodos de madera corta en la ejecución de claras, aunque también se podrían aplicar sobre madera larga o fuste entero siempre que el tamaño de los árboles no sea grande, volumen medio de los árboles menor de 1 m<sup>3</sup>.

Para su ejecución es necesario definir calles o arrastraderos en la masa, caso del uso de la mula mecánica o vehículos 4x4 con madera larga, para llevar a cabo el desembosque hasta una pista accesible a un camión o tractor forestal (figura 11.47). Dada la maniobrabilidad de estas máquinas no es necesario que las rutas de desembosque sean rectas o paralelos entre sí, de-

pendiendo su trazado y diseño de las características del terreno y de la masa de cada zona de corta. En todos los casos las rutas o calles de extracción deben estar libres de restos de corta o vegetación para facilitar el desemboque y evitar los riesgos de enganches en el vehículo o pinchazos en el caso de los vehículos 4x4 o miniautocargadores.



**Figura 11.47.** Esquema de trabajo en la ejecución de claras en terreno de poca pendiente por el método de fuste entero o madera larga (izquierda) y método de madera corta (derecha) y el empleo de mula mecánica o pequeños vehículos 4x4 para el desembosque. El motoserrista (1) tirará los árboles hacia el arrastrador o zona apta para el desplazamiento del vehículo más próxima, donde serán procesados (2). La mula mecánica o el pequeño vehículo 4x4 (3) desemboscarán los fustes o las trozas hasta una pista accesible a tractor forestal que hará un segundo desembosque (4) en los casos en los que la pista no sea accesible a camión.

### 3.3.3. Sistema que emplean canaletas artificiales

Se trata de un sistema de trabajo cuyo uso es apropiado con el método de aprovechamiento de madera corta (sistema MC-0-CN). Sin embargo, se pueden plantear variantes, como la ejecución en un primer momento de la corta por el método de fuste entero, reunión hasta línea de canaletas con tracción animal, tronzado de los fustes al lado de las canaletas y desembosque hasta pista por las canaletas artificiales.

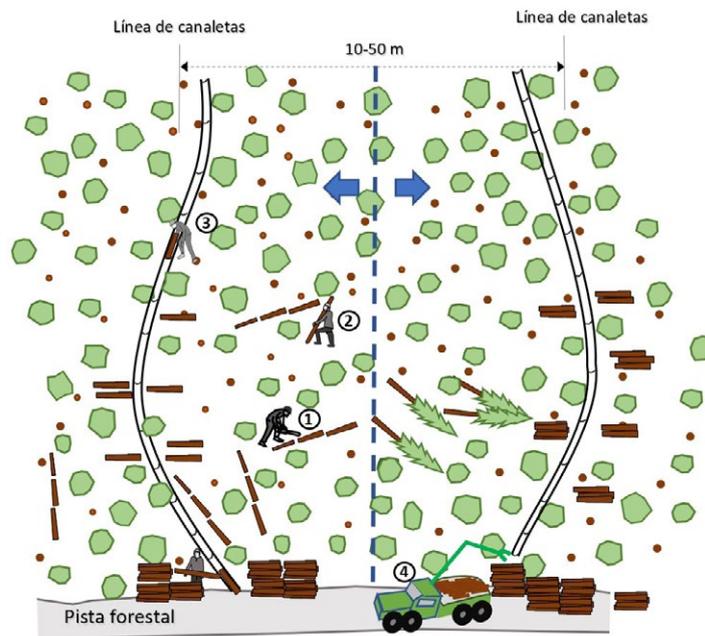
La aplicación del sistema requiere una pendiente de al menos 15-20% para que el deslizamiento de la madera sea adecuado, pudiendo funcionar de forma adecuada hasta pendientes del 45%. La madera desliza mejor cuando las canaletas están húmedas por lo que en condiciones secas, si esto fuera posible, es útil verte un bidón de agua por la canaleta desde la parte superior. En pendientes superiores al 30% es necesario instalar mecanismos de frenado para reducir la velocidad de las trozas, habiéndose usado en el Reino Unido una troza colgada por la punta hasta el centro de la canaleta, las trozas que deslizan al chocar contra ella reducen sensiblemente la velocidad (Forestry Commission 1994). En pendientes superiores se pueden disponer las líneas de canaletas oblicuas para disminuir de esta forma la pendiente y poder utilizar adecuadamente el equipo.

El principal inconveniente de los canales artificiales de desembosque en comparación con los medios más mecanizados se relacionan con su manipulación o las operaciones manuales, como

son el transporte de las canaletas dentro de la masa forestal, la recogida y reunión de la madera hasta el canal y el montaje de la línea, sobre todo en condiciones de fisiografía desfavorables (Rodríguez et al. 2005).

### Organización y procedimiento operativo

La zona de corta se organiza en franjas de trabajo de 10-50 m de anchura (dependiendo de la intensidad de la corta) en cuyo centro se instala una línea de canaletas (canal artificial) que habitualmente tiene menos de 100 m de longitud, aunque pueden llegar hasta 150-200 m de longitud máxima en condiciones favorables (Rodríguez et al. 2005). El número de operarios necesarios para llevar a cabo el apeo, procesado y desembosque mediante este sistema puede oscilar entre tres y seis. Una vez que los motoserristas han apeado los árboles señalados en el área de trabajo y tras su desramado y tronzado (1 en figura 11.48) se procede al montaje de la línea de canaletas y a la posterior reunión manual de la madera hasta ella (2 en figura 11.48) para su posterior desembosque por deslizamiento de las piezas por su interior hasta pista accesible a camión u otro medio de desembosque secundario (3 en figura 11.48).



**Figura 11.48.** Esquema de trabajo en el desembosque con canaletas artificiales. Tras el tronzado (1), los operarios realizan la reunión manual de las trozas (2) y las acumulan en el lateral de la línea de canaletas para su posterior deslizamiento por estas (3). En la pista se van apilando las trozas en espera de un segundo desembosque con autocargador (4), o bien de su carga en camión para transporte a destino (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).

Para iniciar la instalación de un canal artificial, es frecuente ayudarse de cabrestantes portátiles o de cabrestantes de tractores o vehículos 4x4 (figuras 11.49 y 11.50, izquierda). El traslado de canaletas a otra franja de trabajo se hace a mano en curva de nivel. En equipos de hasta 6 operarios y para evitar tiempos muertos y aumentar el rendimiento se pueden

tener instaladas dos líneas de canales artificiales consecutivas para que, de esta forma, y tras acabar el desembosque de la primera franja de trabajo, unos operarios comienzan el desembosque de la segunda franja, y otros trasladan la primera línea de canaletas a la tercera franja de trabajo.



**Figura 11.49.** Los cabrestantes portátiles son de gran ayuda para la instalación de las líneas de canaletas (izquierda). A la derecha detalle de una línea de canaletas (Fotos: Cumbria Woodlands).



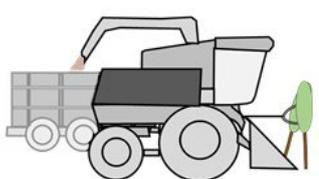
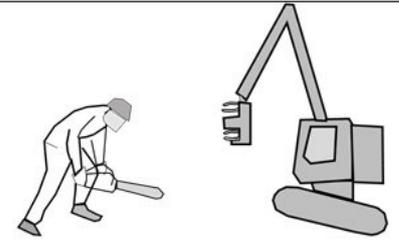
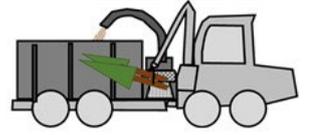
**Figura 11.50.** Cabrestante sobre sobre trineo para desplazar las canaletas (izquierda) y detalles del desembosque (derecha) en una experiencia de uso de canaletas para desemboscar leñas en un aprovechamiento en el Parque Natural de la Garrotxa, Cataluña (Fotos: Wiebrig Broersma/ONF).

### 3.4. Sistemas para uso energético (Grupo 4)

Los sistemas para uso energético son aquellos que utilizan el método de madera astillada, astillado in situ a pie de tocón o en zona de corta de árboles enteros pequeños o trozos de árbol. En plantaciones forestales clásicas se distinguen los sistemas MA-0-ATA y MA-3-ATA, dependiendo de si el apeo es manual con motosierra o mecanizado con taladora-apiladora, tras lo cual, los arbolillos o trozos de árboles son astillados mediante el uso de astilladoras integradas en autocargadores (figuras 11.51 y 11.52). No se considera un sistema para uso energético cuando se extraen los árboles completos o trozos de árbol a cargadero para su posterior astillado. En este caso el método de aprovechamiento es el de árbol completo, considerándose el astillado en cargadero una transformación adicional que dará lugar a un sis-

tema de aprovechamiento diferente, pero no estaremos ante un método de aprovechamiento de madera astillada y por tanto, ante un sistema para uso energético tal y, como se han definido en este manual.

El método de madera astillada también se aplica con frecuencia en el caso del aprovechamiento de cultivos energéticos leñosos de sauce y chopo a turnos de 2-5 años (Sixto et al. 2010), donde los arbolillos son cortados y astillados de forma simultánea mediante el empleo de cosechadoras agrícolas con cabezales cosechadores adaptados al material leñoso (sistema MA-2-TA).

árbol completo	
Apeo, procesado y desembosque	 <p>Apeo y procesado simultáneo mecanizado con cosechadora agrícola adaptada y desembosque con tractor circulando en paralelo (Sistema MA-2-TA)</p>
Apeo	 <p>Manual con motosierra                      Mecanizado con taladora-apiladora</p>
Procesado y desembosque	 <p>Mecanizado con astilladora integrada en autocargador</p>
<b>Sistemas de la tabla 13.1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Madera astillada: MA-0-ATA, MA-2-TA, MA-3-ATA</li> </ul>

**Figura 11.51.** Máquinas y equipos usados en los sistemas de aprovechamiento para uso energético.

### Condiciones de utilización en masas forestales clásicas

- Tanto para coníferas como para frondosas.
- Terreno con pendientes menores 20-30%.

### Ventajas (masas forestales clásicas)

- Permite aplicar tratamientos a montes bajos de poco valor o degradados.
- Riesgo de accidentes reducido, sobre todo cuando está mecanizado también el apeo de los árboles.

### Inconvenientes (masas forestales clásicas)

- La logística del manejo de astillas en monte puede ser complicado, siendo necesarios camiones especiales para su transporte.
- Se debe disponer de un autocargador con astilladora integrada, que son equipos de alto coste, aunque también se puede usar para el aprovechamiento de los residuos de aprovechamientos madereros clásicos.
- Organización complicada porque las fases de trabajo son interdependientes.
- Limitado a volúmenes de corta grandes y diámetros del arbolado pequeños.



**Figura 11.52.** Unidad de astillado Pezzolato sobre autocargador Dingo de 6 ruedas motrices astillando partes de árbol, en este caso a borde de pista, no en zona de corta (izquierda) y detalle del basculado lateral de la caja contenedora para el vertido de la astilla sobre caja de camión (derecha) (Fotos: Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias).

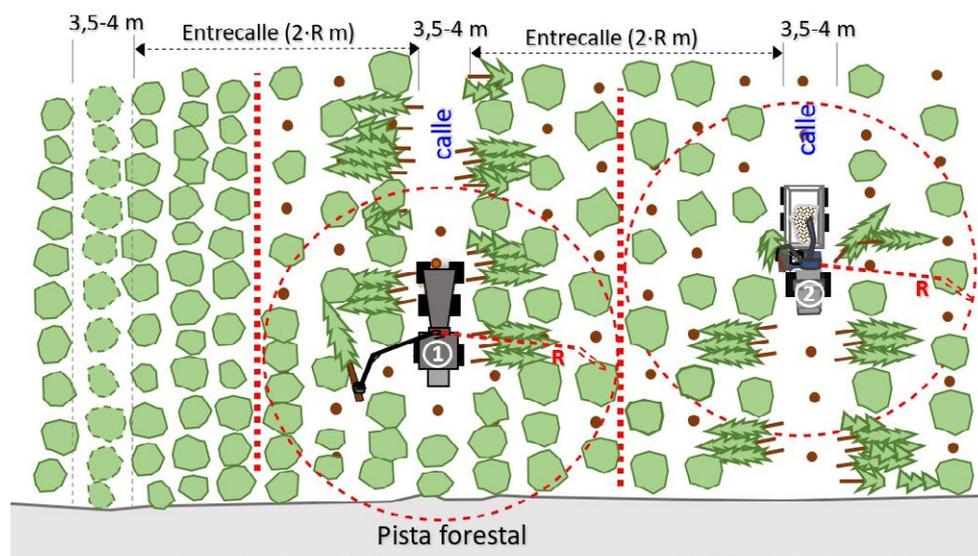
### Masas forestales clásicas

En este tipo de masas se aplica en clareos o primeras claras y la corta se puede ejecutar manualmente con motosierra (sistema MA-0-ATA) o de forma mecanizada con taladora apiladora (MA-3-ATA). En ambos casos la zona de corta se organizará por franjas cuya anchura máxima será el doble del alcance máximo de la grúa (de la taladora-apiladora o del autocar-

gador) para de esta forma garantizar que las máquinas lleguen a todos los árboles a apearse. Al final de la franja de trabajo se lleva a cabo la apertura de calles de 3,5-4 m de anchura (corta sistemática del arbolado) por donde se moverá la taladora para ejecutar la corta selectiva de los árboles en la zona entre calles en el caso del apeo mecanizado (figura 11.52). Estas calles son igualmente necesarias en el caso del apeo manual para que el autocargador con astilladora que circule por ellas pueda acceder con la grúa a todos los árboles para su astillado. Las calles se trazarán siguiendo la línea de máxima pendiente, pudiéndose disponer en curvas de nivel o de forma oblicua en terrenos llanos o con muy poca pendiente (menor del 10%).

En el sistema completamente mecanizado (MA-3-ATA), la taladora se moverá por las calles apeando los árboles señalados en la clara y apilando los árboles en manojos al costado de las calles (1 en figura 11.53). Cuando los árboles son de mucha altura se suele dar un corte con la cizalla por la mitad (variante de partes de árbol) para facilitar el trabajo posterior de astillado. En el caso del sistema manual (MA-0-ATA), el motoserrista tirará los árboles de forma dirigida para facilitar su recogida posterior por parte del autocargador.

El autocargador circulará posteriormente por las calles y con ayuda de la pluma irá cogiendo los arbolillos a un lado y a otro con los que alimentará su astilladora que a través de una cañonera verterá las astillas en la caja cerrada del remolque (2 en figura 11.53). Cuando la caja esté llena el autocargador se desplazará a parque de monte y basculará las astillas sobre caja de camión o en contenedor.



**Figura 11.53.** Esquema de trabajo de un aprovechamiento completamente mecanizado por el método de madera astillada, con uso de taladora-apiladora para el apeo (1), autocargador con astilladora integrada en el chasis para el astillado y posterior desembosque de las astillas hasta cargadero (2).

### Plantaciones energéticas leñosas a turno corto (2-5 años)

El sistema MA-2-TA se emplea exclusivamente con plantaciones energéticas leñosas gestionadas a turno corto (2-5 años según especies y productividad del terreno). Se trata de plantaciones realizadas a alta densidad (5000-15.000 pies/ha) en filas separadas 3 ó 3,5 m con especies que rebrotan de cepa tras el cultivo (principalmente clones de especies de los géneros *Populus*, *Salix* y *Eucalyptus*). Estas plantaciones se llevan a cabo en terrenos llanos (muchas se riegan a manta o por goteo) o con muy poca pendiente (<10%).

Aunque existen otras posibilidades de aprovechamiento como aprovechamiento del árbol completo y astillado posterior en parque de monte; el cosechado y astillado in situ de los árboles es un método bastante habitual. Para el apeo, astillado y desembosque simultáneo se usan cosechadoras agrícolas adaptadas, a las que se les reemplaza su cabezal de cosechado estándar por otro adaptado al material leñoso, y tractores agrícolas con remolque de baldas cerradas circulando en paralelo a la cosechadora. En esta línea, existen diversas adaptaciones de maquinaria, como la de la empresa Biopoplar, realizada sobre un cabezal con posibilidad de utilizarlo con cosechadoras forrajeras de diversas marcas y capaz de cortar plantas de diámetros medios de 13-14 cm; la de la empresa New Holland ([www.newholland.com](http://www.newholland.com)) realizada sobre la máquina FR 9000 y el cabezal 130 FB para recolectar plantas con un diámetro de hasta 15 cm y, la realizada por Claas ([www.claas.com](http://www.claas.com)) sobre la máquina Claas Jaguar a la que se le sustituye el cabezal para cultivos herbáceos por otros específicos para leñosos (Sixto et al. 2010) (figura 11.54).



**Figura 11.54.** Cosechado con cosechadora agrícola adaptada y desembosque con tractor agrícola con remolque de caja cerrada (Sistema MA-2-TA) (Fotos: Proyecto Rockwood, izquierda y Biopoplar, derecha).

También existen otras máquinas de diseño específico para el aprovechamiento de cultivos energéticos leñosos, como aquellas que incorporan astilladoras modificadas en la toma de fuerza de tractores agrícolas que circulan marcha atrás (ejemplo astilladora de la firma italiana Spapperi) y que requieren también que un tractor con remolque de baldas cerradas circule en paralelo para recoger las astillas (figura 11.55).



**Figura 11.55.** Cabezal de la firma italiana Spapperi para cosechar cultivos energéticos leñosos gestionados a turno corto (izquierda). Detalle de su utilización (derecha) (Fotos: Spapperi).

### 3.5. Tipos de sistemas de aprovechamiento en el mundo

En un estudio reciente, Lundbäck et al (2021) presentaron porcentajes de utilización a nivel internacional de los sistemas de aprovechamiento completamente mecanizados (SM) con los métodos de madera corta o larga (MC/ML) y con los métodos de árbol completo/fuste entero (AC/FE) (tabla 11.2). Este estudio presenta una visión muy amplia de la mecanización de los aprovechamientos madereros a nivel mundial, a pesar de que fueron excluidos del mismo, por falta de datos, países con importantes producciones madereras como China, Indonesia, India, Japón, Tailandia, Argentina, Portugal o Nigeria.

Según el mismo, América del Norte y Australia, son las regiones de mundo con un mayor porcentaje de aprovechamientos con sistemas completamente mecanizados, con un predominio claro de los métodos de árbol completo o fuste entero en la primera y con porcentajes similares en Australia entre los sistemas que usan estos métodos y los que emplean madera corta o madera larga.

En Europa el porcentaje de aprovechamientos completamente mecanizados también es alto (64%); sin embargo, hay un claro predominio de los métodos de madera corta/madera larga. El menor tamaño de los lotes de aprovechamiento maderero, que no permiten emplear las grandes máquinas norteamericanas, y la expansión hacia el resto de los países de los sistemas nórdicos mecanizados de madera corta, están en el origen de tal predominio. En general, salvo que se demande un producto que requiera gran longitud de madera, los métodos de fuste entero se han asociado con condiciones orográficas difíciles y es la razón de su predominio en países montañosos centroeuropeos (p.ej., Suiza y Austria). Sin embargo, como puede observarse en la tabla 11.2, su mecanización completa es muy difícil, incluso en países con tecnología avanzada y alto grado de mecanización forestal como el caso de Austria (<1% mecanización completa aprovechamientos por métodos FE/AC). La complicada orografía de este país hace que se emplee con frecuencia el desembosque con cable grúa para extraer los fustes enteros de los árboles tras el apeo, desramado y despuntado con motosierra; y este sistema, de acuerdo con el estudio de Lundbäck et al (2021), se incluiría en grupo "otros", lo cual justifica su alto porcentaje

(65%). Sin embargo, los altos porcentajes de este grupo en otros países europeos como Eslovaquia (95%), Bulgaria (95%), Ucrania (92%), Turquía (92%) o Rumanía (90%) se deben seguramente a un bajo porcentaje de mecanización completa de los aprovechamientos forestales.

Según este estudio, España presenta un porcentaje alto de la mecanización completa de los sistemas que hacen madera corta o larga (60%). Esto, sin duda, se debe al empleo habitual, a lo largo de todo el país, de sistemas completamente mecanizados (apeo y procesado con cosechadora y saca con autocargadores o skidders) en la ejecución de primeras y segundas claras en las masas de pino y al alto grado de mecanización completa en la cornisa Cántabro-Atlántica en las cortas a matarrasa de los eucaliptares (apeo y procesado con cosechadora y saca con autocargador y/o apeo con taladora-apiladora, procesado con cosechadora y saca con autocargador).

**Tabla 11.2.** Volúmenes anuales de cortas de madera sin corteza (millones de m<sup>3</sup>) y proporción de madera extraída según clases de sistemas de aprovechamiento maderero (Fuente: Lundbäck et al. 2021).

País	<sup>a</sup> Volumen de corta anual	<sup>b</sup> SM <sub>MC/ML</sub>	<sup>c</sup> SM <sub>AC/FE</sub>	<sup>d</sup> Otros
Austria	12,2	35	<1	65
Bielorrusia	11,3	10	10	80
Bulgaria	3,5	<5	<5	95
Republica Checa	14,1	30	10	60
Estonia	6,6	80	5	15
Finlandia	54,3	95	<1	<5
Francia	25,1	55	10	35
Alemania	42,8	65	10	25
Irlanda	2,7	98	0	2
Italia	2,1	60	<1	40
Letonia	11,4	70	5	25
Lituania	4,7	55	5	45
Noruega	1,3	95	<1	<5
Polonia	36,8	20	10	70
Rumanía	11	5	5	90
Eslovaquia	8,8	<5	<5	95
España	13,3	60	<1	40
Suecia	67,2	95	<1	<5
Turquía	20,4	2	6	92
Reino unido	8,7	90	0	10
Ucrania	8,2	<5	<5	95
Europa	375,5	59	5	36
Este de Canadá	57,9	75	20	5
Oeste de Canadá	99,9	5	80	15
Estados Unidos	356,6	15	70	15

País	<sup>a</sup> Volumen de corta anual	<sup>b</sup> SM <sub>MC/ML</sub>	<sup>c</sup> SM <sub>AC/FE</sub>	<sup>d</sup> Otros
América del Norte	514,4	20	66	14
Brasil	145,1	45	25	30
Chile	44,6	25	25	50
Uruguay	11,3	75	<1	25
América del Sur	201	42	24	34
Rusia	198,2	35	10	55
Malasia	13,9	<1	<1	<95
Australia	30,1	45	50	5
Nueva Zelanda	28,7	10	55	35
Sudáfrica	14,4	30	60	10
Total <sup>e</sup>	1 376		33	30

<sup>a</sup> Datos obtenidos del libro "Statistics yearbook forest products (FAO 2016)".

<sup>b</sup> Sistemas completamente mecanizados (SM) que hacen madera corta (MC) o madera larga (ML).

<sup>c</sup> Sistemas completamente mecanizados (SM) que hacen árbol completo (AC) o fuste entero (FE).

<sup>d</sup> Incluye todo tipo de sistemas manuales o sistemas parcialmente mecanizados (Nota: acepción diferente a la usada en este manual ya que se considera un sistema parcialmente mecanizado cuando el apeo y procesamiento es manual y el desembosque se lleva a cabo con medios mecánicos).

<sup>e</sup> Los porcentajes totales se han obtenido ponderando para cada país los porcentajes por el volumen cortado.

#### 4. Elección de un sistema de aprovechamiento

Pocas actividades productivas, como el aprovechamiento maderero, tienen que hacer frente a una variedad tan grande de situaciones diferentes. Debido a ello, el éxito de esta actividad depende en gran parte de la elección del sistema más adecuado, y de su planificación, que llega a suponer hasta el 60-80% de los costes operativos del aprovechamiento, sin incluir el transporte, mientras que una buena ejecución de los trabajos solo representaría entre el 20-40% de estos costes (Frutig et al. 2007). Los factores que conducen a la elección de un sistema de aprovechamiento son numerosos (figura 11.56) y ya han sido explicados con detalle en el capítulo 5:

- **Legales:** titularidad del monte, estructura de la propiedad, normativa vigente.
- **Naturales:** clima, fisiografía (pendiente y escabrosidad), suelo (capacidad portante, adherencia, escabrosidad y pedregosidad), fauna y flora.
- **Selvícolas:** especies de árboles, estructura de la masa, tipo de corta, intensidad de corta.
- **Infraestructuras:** red de pistas, cargaderos, logística (existencia de talleres próximos, gasolineras, restaurantes, etc.).
- **Tecnológicos:** disponibilidad de máquinas y equipos.
- **Económicos:** productos demandados por el mercado, costes.

- **Sociales:** disponibilidad de mano de obra y su formación, seguridad y salud laboral, ergonomía, percepción social de los aprovechamientos madereros.
- **Ambientales:** efectos ambientales de los aprovechamientos, riesgos asociados.



**Figura 11.56.** Factores que condicionan la elección de los sistemas de aprovechamiento maderero.

Sin embargo, a pesar de que el análisis debe considerar estos múltiples factores, con frecuencia se ha simplificado y se ha asociado el sistema de aprovechamiento más adecuado con el menos costoso para el propietario. Aunque en la mayoría de los casos los costes son un factor importante o incluso esencial, se dice que un sistema de aprovechamiento es óptimo, cuando teniendo en cuenta los condicionantes anteriores, este responde de una forma más adecuada a los objetivos del propietario o gestor del monte (Frutig et al. 2007).

También se debe tener en cuenta que los sistemas de aprovechamiento maderero no son esquemas rígidos, ya que:

- Los sistemas pueden cambiar a lo largo del tiempo.
- El mismo sistema de aprovechamiento se puede aplicar a diferentes tipos de cortas si estas presentan circunstancias parecidas.
- Cada sistema puede tener variantes.

- Para un mismo tipo de corta se pueden aplicar dos sistemas diferentes, según la disponibilidad de materiales y equipos a disposición del aprovechamiento, sistema óptimo y sistemas alternativos.

Por último, la adecuada elección del sistema de aprovechamiento requiere un importante conocimiento práctico sobre las técnicas y procedimientos a utilizar y sobre las ventajas e inconvenientes de cada sistema. Por ello, es importante la colaboración de todos los agentes que intervienen en la cadena de la madera (propietarios, gestores, empresas de aprovechamiento, transportistas, empresas transformadoras, etc.).

#### 4.1. Procedimiento

El procedimiento para la elección del sistema de aprovechamiento se basa en un análisis de viabilidad en tres fases o etapas: i) viabilidad técnica, ii) viabilidad económica y iii) viabilidad social y ambiental. En la primera etapa se analizan las condiciones existentes (legales, naturales, selvícolas e infraestructuras) y tras finalizarla se dispone de una colección de sistemas de aprovechamiento que técnicamente son posibles, pero que posteriormente deben ser evaluados desde el punto de vista de su rentabilidad económica en una segunda etapa. Por último, los sistemas retenidos en esta segunda etapa deben ser sometidos a un último análisis que tenga en cuenta criterios laborales, sociales y medioambientales (figura 11.57); tras lo cual, se decidirá el o los sistemas de aprovechamiento más adecuados.

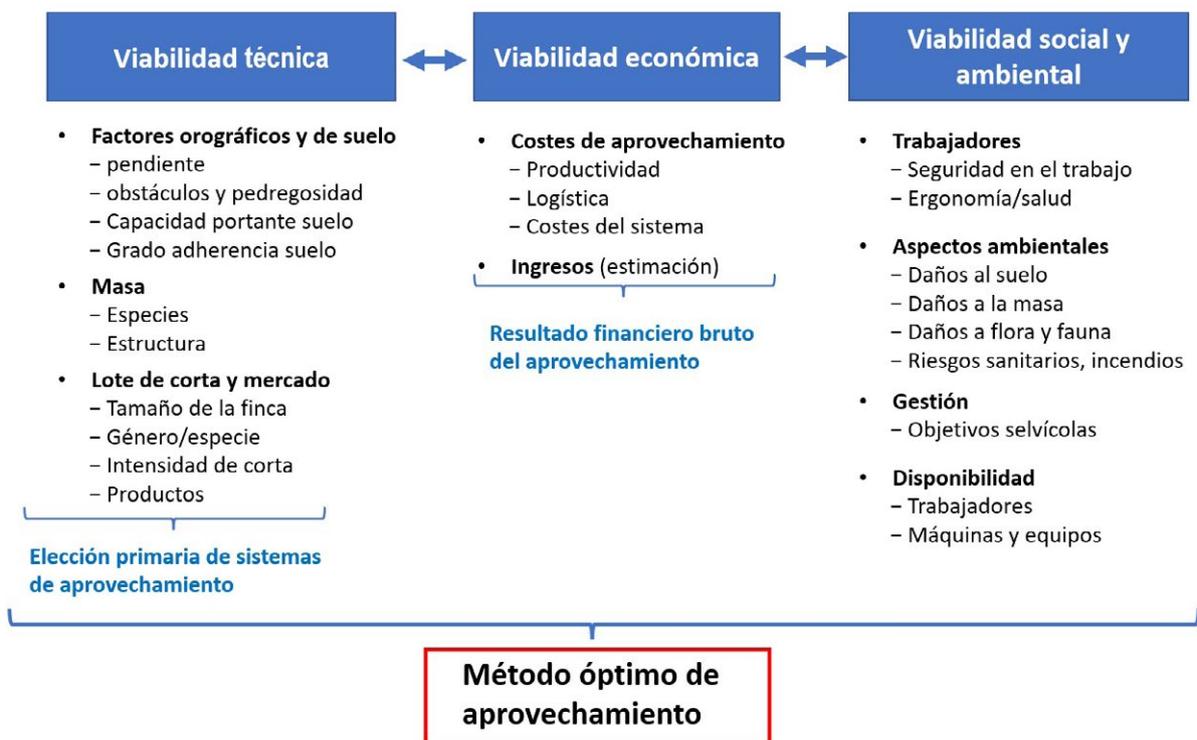
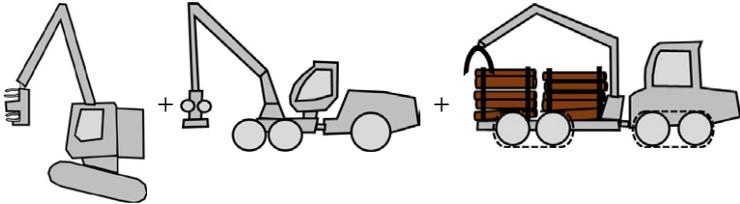
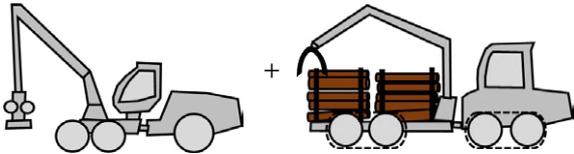


Figura 11.57. Esquema del procedimiento a seguir para elegir el sistema óptimo de aprovechamiento maderero (Fuente: adaptado de Frutig et al. 2007).

## 4.2. Ejemplos de elección de un sistema de aprovechamiento

A continuación, se presentan ejemplos de elección del sistema de aprovechamiento maderero para distintas situaciones. Para ello, se proporciona información sobre: i) la forma fundamental de masa, ii) el tipo de corta prevista, iii) las características del terreno, iv) el tipo de producto que demanda el mercado y v) el método de aprovechamiento más adecuado. En base a ello, se presenta la elección del sistema de aprovechamiento más adecuado, y también el segundo mejor sistema o sistema alternativo.

### 4.3.1. Ejemplos en Galicia y la Cornisa Cantábrica

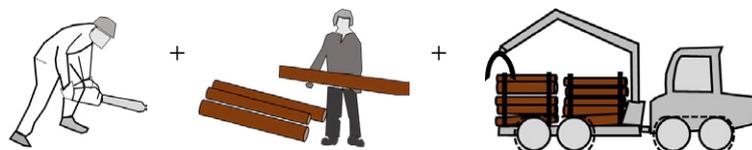
Ejemplo 1: Masas de eucalipto	
Forma fundamental y principal de masa	Monte alto o monte bajo con selección de brotes. Masa coetánea
Tipo de corta prevista	Corta de generación a hecho o a matarrasa
Características de la masa	Marco y densidad: marcos de 2,5 x 2,5 a 3x3 (densidades de 1600 a 1100 pies/ha) Diámetros a 1,3 m: 15-35 cm Volumen de corta por ha: 150-600 m <sup>3</sup> /ha Conformación árboles: rectos y ramosidad confinada en el cuarto superior
Características del terreno	Acceso: buen acceso a la zona de corta y los camiones de transporte pueden llegar hasta el cargadero de monte Presencia de obstáculos: sin obstáculos significativos Pendiente: menor del 15% Superficie: mayor de 4 ha
Exigencias del mercado y comercialización	Madera para fabricación de pasta de celulosa
Método de aprovechamiento	Madera corta
Sistema propuesto	Sistema completamente mecanizado de madera corta (MC-3-AT): Apeo con taladora-apiladora, procesado y apilado con cosechadora forestal y desembosque con autocargador
	
Sistema alternativo	Sistema completamente mecanizado de madera corta (MC-2-AT): Apeo, procesado y apilado con cosechadora forestal y desembosque con autocargador
	

**Ejemplo 2: Masa de coníferas (principalmente pino radiata, pino pinaster y pino silvestre)**

Forma fundamental y principal de masa	Monte alto. Masa coetánea o regular
Tipo de corta prevista	Corta de primeras o segundas claras
Características de la masa	Marco y densidad: marcos de 2 x 2 a 3x3 (densidades de 2500 a 1100 pies/ha en primera clara o de 1000 a 600 pies/ha en segunda clara) Diámetros a 1,3 m: 15-35 cm Volumen de corta por ha: mínimo 50 m <sup>3</sup> /ha Conformación árboles: buena (aquellos con mala conformación deberán ser cortados y procesados con motosierra)
Características del terreno	Acceso: bueno y los camiones de transporte pueden llegar hasta el cargadero de monte Presencia de obstáculos: sin obstáculos significativos Pendiente: menor del 30% Superficie: mayor de 2 ha para corta y unas 14 ha para el lugar (puede haber varias parcelas próximas). Al menos 700 m <sup>3</sup> de corta en el mismo lugar para rentabilizar máquina cosechadora
Exigencias del mercado y comercialización	Madera trituración y madera aserrado
Método de aprovechamiento	Madera corta
Sistema propuesto	Sistema completamente mecanizado de madera corta (MC-2-AT): Apeo, procesado y apilado con cosechadora forestal y desembosque con autocargador



**Sistema alternativo** **Sistema manual de madera corta (MC-0-AT):** Apeo y procesado manual con motosierra, apilado manual y desembosque con autocargador



## 5. Bibliografía

- Apffel C (2011) La traction animale en débusquage forestier. ONF - Direction territoriale Lorraine, 70 pp.
- ARMEF (1993) Manuel d'exploitation forestières. Tome I, ARMEF-CTB-IDF. Fontainebleau, 442 pp.
- Bravo E, Ortuzar L (2016) Las taladoras de disco: experiencias en montes gallegos. Revista Foresta, Nº 65: 65-68.
- Eroglu H, Acar H.H, Ozkaya M.S, Tilki F (2007) Using plastic chutes for extracting small logs and short pieces of wood from forests in Artvin, Turkey. Building and Environment 42: 3461–3465.
- FAO (2016) Statistics yearbook forest products. Roma, Italia.

- Forestry Commission (1994) Glenfinnan log chute. Technical Note 6/94, UK Forestry Commission, 10 pp.
- Frutig F, Fahrni F, Stettler A, Egger A (2007) La récolte mécanisée des bois sur terrain en pente. La Forêt 6/2007, 16-21.
- Grulois S, Magaud P, Périnot C (2014) La récolte forestière en montagne. FCBA, fiche technique, 17 pp.
- Kollert W (2018) La populicultura en Europa y España. II Simposio del Chopo, Valladolid, 17-19 de octubre de 2018. Actas del simposio, pp. 21-29.
- Leinonen A (2004) Harvesting technology of forest residues for fuel in the USA and Finland. VTT Tiedotteita-Research Notes 2229. 132 p. + app. 10 p.
- Lindroos O, La Hera P, Häggström C (2017) Drivers of advances in mechanized timber harvesting – a selective review of technological innovation. Croat J For Eng. 38(2):243–258.
- Lundbäck, M, Häggström C, Nordfjell T (2021) Worldwide trends in methods for harvesting and extracting industrial roundwood. International Journal of Forest Engineering, 32:3, 202-215.
- McNally J (1978) Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento. FAO, Roma.
- Nisbet T, Dutch J, Moffat A (1997) Whole-tree harvesting. A Guide to good practice. Forestry Commission Research Agency, Edinburgh, 11 pp.
- Pischedda D (coord.) (2009) Guide pratique pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt «PROSOL». ONF, Paris, 110 pp.
- RECOFTC (2005) Log chutes. Factsheet. RECOFTC - The Center for People and Forests, 12 pp. Tailandia.
- Rodríguez J, Juanati C, Piqué M, Tolosana E (2005) Tècniques de desembosc en l'aprofitament forestal. Centre Propietat Forestal, Barcelona.
- Sixto H, Hernández MJ, Ciria P, Carrasco JE, Cañellas I (2010) Manual de cultivo de *Populus ssp.* para la producción de biomasa con fines energéticos. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, 60 pp.
- Spinelli R, Magagnotti N, Lombardini C (2020) Low-investment fully mechanized harvesting of short-rotation poplar (*Populus spp.*) plantations. Forests 2020, 11, 502.
- Sundberg U, Silversides CR (1988) Operational efficiency in forestry Vol. 1 analysis. Dordrecht Holland: Kluwer Academic Publishers.
- Tolosana E, González VM, Vignote S (2000) El aprovechamiento maderero. Ediciones Mundi Prensa. 580 pp. Madrid.
- Varch T, Erber G, Visser R, Spinelli R, Harrill H, Stampfer K (2021) Advances in cable yarding: a review of recent developments in skyline carriage technology. Current Forestry Reports, 7:181–194.
- Vignote S, Tolosana E, Ambrosio Y, Vivar A, Blanco A, Pajares J, Martínez P, Rojo A, Torre M, Montero G (2001) Manual para la ejecución del aprovechamiento maderero en primeras claras sobre repoblaciones de coníferas. AITIM, Madrid.