



Aprofitament i processat de biomassa forestal amb finalitats energètiques

Article publicat en el llibre de les XXIV Jornades Tècniques Silvícoles, editat pel Consorci Forestal de Catalunya.

Armanda Marques

Enginyera de Forests. Grup d'aprofitaments forestals i biomassa, CTFC

Ignacio López

Enginyer de Forests. Grup d'aprofitaments forestals i biomassa, CTFC

David Merino

Primer Tinent d'Alcalde, regidor de Sostenibilitat i Noves Tecnologies de l'Ajuntament d'Arbúcies

Jaume Urquiza

Aulet Forestal SL

Joan Arrey

Aulet Forestal SL

Francesc Massagué

Silvicultor

Judit Rodríguez

Enginyera de Forests. Grup d'aprofitaments forestals i biomassa, CTFC

1. INTRODUCCIÓ

Per tal de dur a terme una gestió sostenible dels boscos una possible destinació dels productes fusters de menor qualitat que contribueix a la rendibilitat de les intervencions de millora de les masses forestals és l'energia. Així mateix, l'aprofitament de biomassa forestal com a font d'energia –o *dendroenergia*- es perfila com a alternativa amb major potencial en relació a altres renovables més explorades com la solar o l'eòlica.

Alguns dels avantatges de la biomassa són la gran disponibilitat de matèria i l'estalvi d'emissions de CO₂, cada cop més important en el marc de l'acompliment del Protocol de Kyoto y l'emergent comerç d'emissions. Així mateix, la biomassa forestal gaudeix d'un balanç favorable d'aproximadament 1 unitat d'energia invertida per a la obtenció de 30, i un creixent grau d'eficiència en l'aprofitament i la transformació de l'energia.

L'obtenció d'aquesta energia fa necessari un procés de: 1. producció i l'aprofitament, 2. estelat i emmagatzematge, i 3. subministrament i consum.



Fotografia 1: UA 59 de la finca El Bagis.

Per tal de superar l'escassetat d'experiències i informació –una de les principals barreres per al desenvolupament d'aquesta activitat- el CTFC duu a terme tasques divulgatives en el marc d'Enersilva com és l'organització de la present jornada.

L'objectiu és mostrar un exemple de l'aprofitament energètic de biomassa forestal primària, donar a conèixer la situació actual a Catalunya i fer emergir les qüestions de debat més importants que genera aquest tema.

2. L'APROFITAMENT FORESTAL



Fotografia 2: UA 79 de la finca El Bagis.

Es considera material aprofitable amb finalitats energètiques aquella biomassa forestal de menor qualitat. Les intervencions que generen aquest material són les primeres aclarides o els subproductes d'altres tallades. L'aprofitament de restes inclou aquesta recollida com a segon pas addicional després de l'aprofitament convencional.

Una alternativa per a la recuperació del producte del desbrancat-escapçat, o per maximitzar la quantitat de biomassa extreta en un aclarida és **l'aprofitament d'arbre sencer o aprofitament integrat**.

En aquest cas la recollida de fusta per energia és una part integral de la operació d'aprofitament: l'arbre és extret sencer fins a pista o carregador, on es pot fer el desbrancat, despuntat i trossejat (si s'escau) de forma més o menys mecanitzada. Això permet estalviar feina als talladors a peu d'arbre, avantatge sobretot en condicions de treball desfavorables pel treball manual com el pendent elevat. Un cop extret l'arbre existeix la possibilitat de mecanitzar aquestes feines de processat. La fusta és llavors apilada a peu de pista per productes, i les restes es poden concentrar també vora pista (RODRÍGUEZ, 2006). Per a l'aprofitament de tot l'arbre com a font d'energia, no és necessari aquest processat, i pot entrar l'arbre sencer a l'estelladora.

A banda de les valoracions associades al sistema d'aprofitament d'arbre sencer (RODRÍGUEZ, 2006) , dos dels avantatges d'aquest sistema són:

- **Econòmic:** En el cas en què ja s'apliqui el sistema d'arbre sencer, l'aprofitament d'un altre producte que en qualsevol cas ja ha estat extret del bosc pot suposar un ingrés addicional interessant.

- **Ambiental:** Les restes d'aquests aprofitaments abandonades a peu de pista poden ocasionar problemes per la xarxa fluvial de la zona i una acumulació indesitjable enfront del risc d'incendi, efecte evitat amb la seva extracció.

Si el desembosc no es duu a terme amb la fusta suspesa (amb autocarregador o tractor amb remolc), cal valorar la possible perturbació del sòl i contaminació de la biomassa amb sorra d'aquest tipus d'aprofitament.

És necessari tenir en compte que l'extracció del fullatge (acícules o fulles) i les parts més fines de l'arbre és indesitjable tant per les forests com per l'aprofitament energètic, ja que d'una banda s'extreuen els nutrients acumulats als arbres, i de l'altre la conversió en energia i productes obtinguts és més complexa (emissions, vitrificació de materials, cendres, etc.). Per això és interessant aquest sistema en la mesura en què es pugui deixar assecar el material a bosc i, per tant, perdre la fulla *in situ*.

2.1. L'APROFITAMENT A LA FINCA EL BAGÍS

Per tal de mostrar un exemple d'aprofitament energètic es desenvolupen les intervencions a les Unitats d'Actuació 59 i 79, on es preveu al PTGMF realitzar una primera aclarida de *Pinus insignis*, generant un material amb escasses possibilitats de comercialització.

Taula 1: Característiques de les UA's:

	Prat Bagís Baix UA 59	Sota carretera Ferrerías UA 79	uds
Superfície	1,5	1	ha
Fracció de cabuda coberta	100	100	%
Espècie principal	<i>P. insignis</i>	<i>P. insignis</i>	
Recobrint	100	100	%
Densitat	750	746	p/ha
Àrea basimètrica	7,75	11,82	m ² /ha
Forma principal	Regular	Regular	-
Edat	9	9	anys
Alçada mitjana	5	5	m
Alçada dominant	6	6	m
Diàmetre mitjà	11,3	14,15	cm
Possibilitat	6,5	7,6	mc/ha i any
Existències	52,8	61,2	t/ha
Biomassa	14,25	23,1	t/ha

Font: Pla tècnic de gestió i millora forestal, Almenar (2006).

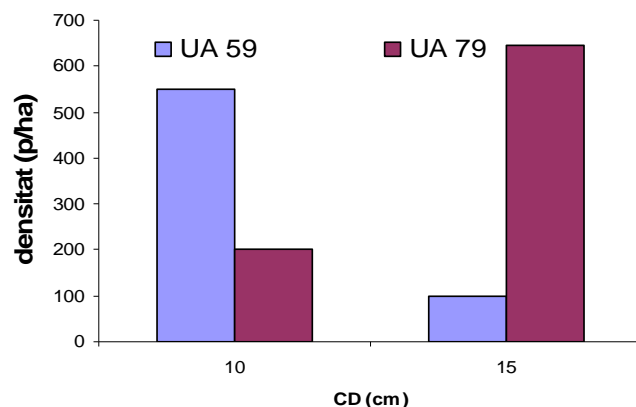


Figura 1: Distribució d'arbres per classe diamètrica.

El tractament previst al PTGMF pel *P. insignis* és de bosc regular, amb un torn de 35 anys i diàmetre mínim 35-40 cm DAP. Això suposa un lleuger allargament del torn respecte l'estàndard de l'espècie. S'espera que això incrementi en major mesura la quantitat de obtinguda de fusta els darrers anys de torn. I les intervencions previstes són:

Taula 2: Intervencions previstes per las UAs 59 i 79:

UA 59	Any 2008	Primera aclarida a bosc regular
Extracció dels peus dominats, mal conformats i sense futur. Densitat final estimada 600 p/ha. Separació entre peus 4 m aprox. Inclou una estassada prèvia a l'actuació i una poda simultània dels arbres de futur.		
UA 79	Any 2007	Primera aclarida a bosc regular
Igual que l'anterior, amb una densitat final estimada de 550-600 p/ha. Separació entre peus 4-4.5 m aprox.		

Font: Pla tècnic de gestió i millora forestal

L'execució prevista d'aquesta actuació inclou una primera estassada de la parcel·la, seguida de l'aprofitament d'arbre sencer (tallada amb escapçat), i desembosc.

Taula 3: Despeses previstes de aprofitament:

Operació ¹	Cost segons intensitat de l'aclarida		Unitats
	5 t/ha	10 t/ha	
Estassada	464		Euro/ha
Tallada	156- 224	313-449	
Escapçat	27-39	54-77	
Desembosc	21-30	42-60	
Transport	30	60	
TOTALS	699-788	933-1111	Euro/ha
	140-158	93-111	Euro/t

Font: Prontuario forestal, cuadro de precios unitarios i consultes al propietari.

¹ Tot i que es preveu una primera poda, no es comptabilitza donat que no és despesa directa de l'aprofitament de fusta, si no una inversió en els arbres romanents.

3. L'EMMAGATZEMATGE I ESTELLAT

L'automatització dels sistemes d'alimentació de biomassa requereix que prèviament al subministre el material sigui estellat fins a adquirir certa homogeneïtat. Així mateix, per donar solidesa a la cadena de subministrament de biomassa amb finalitats energètiques és necessari disposar de suficient biomassa acumulada temporalment per superar els diversos imprevistos que poden sorgir: avaries, canvis meteorològics, fluctuacions de mercat, etc. Aquest acopi – o *buffer storage*- permet alhora assecat el material, condició desitjable per a finalitats energètiques. L'humitat objectiu és com a màxim del 25-43 % en base seca (20-30% en base humida) Per tant el procés inclou una primera fase d'assecat i acopi de biomassa sencers, seguidament l'estellat, i en tercer lloc l'emmagatzematge i assecat final de l'estella.



Fotografia 3: Pila de fusta per assecat.

L'acopi i assecat inicials es duen a terme amb el material a l'aire lliure, existint protectors per evitar el contacte directe de neu o pluja en casos d'elevada pluviometria. Amb un marge de 6 mesos- 1 any és necessari disposar de la biomassa necessària ja desemboscada, o si més no tallada, per deixar-la assecat. Seguidament es realitza l'estellat a peu de pista, a magatzem/ carregador o a planta. Finalment s'emmagatzema l'estella sota cobert per acabar-la d'assecat i garantir el subministrament. L'emmagatzematge de la biomassa estellada sol fer-se en petites quantitats, procurant l'absència d'acícules, un estellat groller que permeti l'airejat de la pila, bones condicions de ventilació evitant condensacions al sostre, i sobre un ferm que faciliti la posterior recollida sense barrejar amb el terra.

A l'hora de plantejar l'estellat en verd o en sec del material, els resultats d'un o altre són:

Taula 4: característiques del estellat en verd o sec:

Estellat de...	Característiques de la producció	Característiques de les estelles
Fusta verda (recent tallada)	<ul style="list-style-type: none"> - Facilitat d'estellat - Lleu desgast de les ganivetes - Estellat sense pols - Possible presència de fullam 	<ul style="list-style-type: none"> - Pèrdua de matèria durant l'assecat (10-12 % de matèria seca en mesos) - Desenvolupament de podridures que poden irritar i crear al·lèrgies - Taxa de pols que s'incrementa notablement - Adients per ser cremades després d'un curt emmagatzematge - Presència de branquillons i elements llargs - Presència de fullam que incrementa el contingut de cendres
Fusta seca (després de varis mesos de tallada)	<ul style="list-style-type: none"> - Més difícil d'estellar (fusta més dura) - Més desgast de les ganivetes - Estellat amb més pols - Poc o gens fullam 	<ul style="list-style-type: none"> - Poca o gens pèrdua de matèria, deguda a l'absència total o parcial de podriments - Taxa de pols constant - Poden ser conservades més temps sense degradació

Font: Adaptat de LAURIER *et al.*, 1998.

El cas concret que es mostra a la jornada és el de l'empresa Aulet Forestal. Amb una sèrie de patis de biomassa sencera que sumen 4 ha, es realitza l'estellat en aquests carregadors. El material que l'empresa Aulet Forestal compra s'emmagatzema en aquestes àrees segon dos criteris: tipus d'espècie (fusta tova o dura) i antiguitat de col·locació al parc. Les piles es formen de manera que s'optimitzi l'assecat i el rendiment de l'estellat posterior. S'estima un emmagatzematge d'uns 6 mesos per assecat el material abans de l'estellat.



Fotografia 4: Estelladora Jenz Hem 561 Z.

L'empresa disposarà d'un cobert on dipositar i voltejar l'estella un cop processada durant un mínim de 3-4 setmanes. També es comptarà amb una bàscula adjacent al

cobert pel pesatge dels camions, facilitant el transport i subministrament amb aquests. Adjacent a aquesta estructura es disposarà l'estelladora, una Jenz Hem 561 Z, acoblada a la presa de força d'un tractor Massey Ferguson de 240 CV, amb grua integrada per a l'alimentació.

Amb la biomassa assecada a l'aire lliure, un tractor l'acosta a l'estelladora amb el criteri de màxima antiguitat i segons el tipus. Es deixa el material apilat de manera que l'estelladora treballi de forma continuada i no s'aturi per anar-lo a buscar. L'estella produïda es descarrega directament sota el cobert, on queda emmagatzemada pel seu assecat i subministrament. El rendiment promig de l'estellat és proper als 40m³/h (J. Vigil, comunicació personal). Varia lleugerament segons el tipus de fusta (tova o dura), i sobretot en funció de la granulometria desitjada. En aquest cas, en tractar-se d'una caldera de potència mitjana, s'adequa a la mida més comú, de 2 a 10 cm.

Per a l'estimació de costos d'emmagatzematge i estellat, s'han considerat les següents variables (taules 5 i 6):

Taula 5: Variables considerades

Operació	Concepte	Valor
Emmagatzematge de fusta	Superfície de pati	4 ha
	Vehicle pel moviment de fusta	Tractor Massey Ferguson
	Cost horari	60€/h
	Capacitat	2 t
Estellat	Preu adquisició maquinària	145.000€
	Subvenció	20% preu maquinària
	Vida útil de l' estelladora	10.000 h
	Vida ganivetes	50 h
Emmagatzematge estella	Capacitat anual	4.380 t/any
	Anys vida útil	10 anys magatzem
Volteig	Cost horari de volteig	50,6 €/t
	Periodicitat de volteig	2,5 vegades/mes
	Durada volteig 1500 m³	3 h
Transport	Distància del subministrament	0,4 km per pista i 13,9 km per carretera
	Capacitat de càrrega del camió	30 m ³
	Cost horari del camió	47,48 €/h

Font: Prontuario forestal, cuadro de precios unitarios, AULET FORESTAL, Web DMAH, Jaume Masias i Javier Vigil.

Taula 6: Estimació del cost de producció d'estella.

Operació	Cost Euro/t
Compra de fusta ²	24,00
Alimentació de l'estelladora	2,30
Emmagatzematge	0,63
Estellat ³	13,75
Volteig	4,25
Subministrament caldera	6,85
TOTAL	51,68

Font: Estimació segons ARNÓ (2003).

² Variable segons preu de mercat.

³ Amb una subvenció del 20% el cost estimat d'estellat es reduiria a 7,78 Euro/t.



Fotografia 5: Cobert per emmagatzematge.

En l'organització del subministrament de combustible cal prioritzar la garantia al llarg de tot l'any i la qualitat del combustible.

Un magatzem assegura a curt termini el subministrament de combustible. Una garantia a terminis mes grans passa per la organització col·lectiva de l'aprofitament del recurs, així com la signatura de contractes a llarg termini entre clients, rematants i productors. De fet, a altres països, aquestes tres baules de la cadena s'agrupen formant societats empresarials tutelades per l'administració, com és el cas de Bois Energie 66, del sud de França. L'emmagatzematge ha de garantir també que el material que arribi a les calderes ho fa en condicions de qualitat, respecte a impureses i humitat. Cal disposar d'espai suficient pel moviment de maquinària i el volteig –si s'escau- de l'estella.

4. LA CALDERA I EL SUBMINISTRAMENT



Fotografia 6: Cambra de calderes.

Les parts fonamentals d'un sistema de calefacció amb biomassa són: la sitja d'emmagatzematge de combustible, la caldera, el dipòsit d'inèrcia o acumulador de calor, els sistemes d'alimentació, els d'evacuació de cendres, i d'instal·lació de calefacció i/o aigua calenta sanitària (ACS).

La sitja de *biocombustible* ha de garantir certa autonomia de la instal·lació. Es dimensiona en funció del consum de les calderes, per una freqüència de subministrament d'un cop cada 1 o 2 setmanes aprox. en època de màxim consum, i també de manera que faciliti la descàrrega del camió de subministrament. Generalment, aquesta descàrrega es realitza per gravetat, tot i que també existeixen sistemes pneumàtics. A banda de les instal·lacions convencionals, també existeixen mòduls compactes (sitja + caldera + instal·lació) que només requereixen ser connectats al circuit de calefacció/ACS, i són d'instal·lació pràcticament immediata.

Les calderes de mida mitjana requereixen una humitat en base humida inferior al 43 % en base seca (30% en base humida), absència d'impureses i pals, i una granulometria inferior als 10 cm.

Els sistemes d'alimentació traslladen la biomassa des de la sitja fins la caldera. Generalment es tracta de cargols vis-sens-fi dintre de tub, per la qual cosa és necessari acurar la granulometria del material (evitar excés de fins i peces grans). També existeixen sistemes de transport per bandes nervades, catúfols i empenyedors hidràulics.



Fotografia 7: Dipòsit de cendres.

En el cas de la jornada, a Arbúcies es compta amb dues calderes que formen part d'un sistema de calefacció i de subministrament d'ACS per al Poliesportiu Can Pons de l'Ajuntament. Aquest sistema també l'integren 15 panells solars tèrmics, que escalfen només l'ACS. Les calderes de biomassa són per la calefacció del poliesportiu, i l'ACS només quan l'instal·lació solar és insuficient.

Amb un ús de 10 hores diàries de les calderes a plena potència, és necessari el subministre de dos camions de 25 m³ per cada sitja cada 4 setmanes (ó un camió cada dues setmanes). Actualment, els camions bolquet dipositen l'estella o la closca al costat de les sitges i aquestes s'omplen manualment. De fet, s'està estudiant fer un sistema que permeti la descàrrega directa dels camions a les sitges.

És molt important controlar la qualitat de l'estella. Estelles humides redueixen el rendiment de caldera augmentant el consum de matèria prima. Estelles amb impureses, com ara petites pedres provenint del lloc d'emmagatzematge poden fer malbé els mecanismes (bisenfí) que transporten l'estella de la sitja a la caldera. Estelles amb molt contingut en altres impureses, com ara fulles, tenen un contingut en cendres major, pel que es farà necessari evacuar-les més sovint, amb el cost que això suposa.

Taula 7: Característiques tècniques del sistema.

Calderes	2 x Turbomat Fröling 150 Graella mòbil Sonda lambda (control gasos) Control a distància Policombustible
Potència	2 x 150 kW termal (165 kW consum)
Rendiment energètic	92-94 %
Combustible	Estella, closca d'ametlla i avellana
Sitges biomassa	2 x 64 m ³
Superfície poliesportiu a calefactar	2.400 m ²
Consum energètic	300.000 kWh
CO₂ estalviat a l'atmosfera	71.300 kg/any

Font: elaboració pròpia

S'ha comptat amb subvencions de l'ICAEN (Institut Català de l'Energia), la DIBA (Diputació de Barcelona) i amb un crèdit tou de l'IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía). La resta de les despeses d'instal·lació s'ha fet amb fons propis de l'Ajuntament.

Taula 8: Inversions i finançament de la caldera:

Inversions €		Finançament €	
Calderes	58.800	Subvenció	60.000
Instal·lació	213.100	Municipal	141.300
TOTAL	271.900	Crèdit tou IDAE	70.600
		TOTAL	271.900

Font: Ajuntament d'Arbúcies.

El balanç econòmic negatiu és degut sobre tot a l'elevada despesa de les canonades d'aigua aïllades –que garanteixen una mínima pèrdua de calor- i la construcció civil per a les calderes. Tanmateix, s'ha comptat amb l'amortització de les calderes en 20 anys.

Taula 9: Balanços financers:

Balanç econòmic €	Ingressos	Despeses
Gasoil estalviat (24.000 litres a 0.66 €/litre)	15.840,00	
Estelles (100 tones a 85 €/tona)		8.500,00
Despeses manteniment		1.500,00
BALANÇ OPERATIU	5.840,00	
Costs financers (credit tou IDAE) ^[4]		8.859,63
Amortització (20 anys)		13.596,68
BALANÇ	-16616,31	

Font: Ajuntament d'Arbúcies, MEROIL.

^[4] Amb EURIBOR de 4.094%

5. CONCLUSIONS

Taula 10: Resumen dels costos totals per operació.

Costs totals per operació	5 ton/ ha	10 ton/ ha	Unitats
	0,10 – 0,15 cm diàmetre	0,10 – 0,15 cm diàmetre	
Aprofitament forestal (aclarida)	132,6 – 167,6	86,7 – 121,2	€/ton
Estellat	45,6 – 51,70	45,9 – 51,7	€/ton



Fotografia 8: Part superior de les sitges de combustible.

El cost de subministrament en aquest cas depèn en força mesura de l'aprofitament fuster, que si no fos cobert pel propietari, repercutiria de manera molt notable en el total.

D'altra banda, la proximitat entre els punts de producció, processat i subministrament fan que el cost de transport sigui proporcionalment reduït.

6. BIBLIOGRAFIA

ALMENAR, D. S. 2006. Revisió de pla tècnic de gestió i millora forestal. Serveis del Consorci Forestal de Catalunya. Santa Coloma de Farners. 299 pp.

ARNÓ, J.; Masip, J. 2003. Cost horari de la maquinària forestal. Quaderns d'Informació Tècnica. Oficina Tècnica de Prevenció Municipal d'Incendis Forestals. Diputació de Barcelona. 98 pp.

CONDES, S. R. 2005. *Prontuario forestal-* Módulo VI Dasometria y Ordenación de Montes. Ediciones Mundi-Prensa, E.T.S.I. Montes Asociación y Colegio de Ingenieros de Montes, Fundación Conde del Valle Salazar, E.U.I.T. Forestales y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales. Madrid. 38 pp.

LAURIER, J. P.; Pouët, J-C.; Ballaire, P. 1998. Bois-énergie: le déchetage en forêt. ADEME Editions, Paris. 111 pp.

MARTÍNEZ, M. 2005. *Prontuario forestal-* Módulo XV (2) Tecnología de la madera. Ediciones Mundi-Prensa, E.T.S.I. Montes Asociación y Colegio de Ingeniero de Montes, Fundación Conde del Valle Salazar, E.U.I.T. Forestales y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales. Madrid. 40 pp.

RODRÍGUEZ, J. 2006. Aprofitament i desembosc de biomassa forestal. Centre de la Propietat Forestal. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya. Col·lecció Sistemes i tècniques de desembosc, 3. 183 pp.

SPINELLI, R. i HARTSOUGH, B.R. 2001. Indagine sulla cippatura in Italia (A survey of Italian chipping operations). Contributi Scientifico-Pratici XLI. Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto per la Ricerca sul Legno, Firenze, Italy. 112 pp.

VALLADARES, A. C. 2005. *Prontuario forestal-* Módulo XVII Maquinaria forestal. Ediciones Mundi-Prensa, E.T.S.I. Montes Asociación y Colegio de Ingeniero de Montes, Fundación Conde del Valle Salazar, E.U.I.T. Forestales y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales. Madrid. 55 pp.

VALLADARES, A. C., LEBLIC, S. G. 2004. Cuadro de precios unitarios de la actividad forestal. Colegio de Ingenieros de Montes; Fucovasa; Ediciones Mundi-prensa, Madrid. 667 pp.

Agraïments:

Jaume Masias, Javier Vigil, (MEROIL).
