

Biomassa forestal
*per a la producció
d'energia tèrmica*



Generalitat de Catalunya
Departament d'Agricultura, Ramaderia,
Pesca, Alimentació i Medi Natural



Centre de la Propietat
Forestal

Edita: © Generalitat de Catalunya, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Centre de la Propietat Forestal

Primera edició: gener del 2011

Tirada: 500 exemplars

Dipòsit legal: B-5814-2011

Maquetació: ESSA Estructura de Comunicació, SL

Impressió: Creacions Gràfiques Canigó, SL

Fotografies: Xavier Solanes, Francesca Famadas, Xavier López, IDAE, Servei de Prevenció d'Incendis Forestals del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural.

Autors: Francesca Famadas, Teresa Cervera (Centre de la Propietat Forestal)

Revisió de continguts: Elizabeth Fernández, Xavier López (Centre de la Propietat Forestal)

Revisió lingüística: t&cs® – Traducciones y Tratamiento de la Documentación, SL

Col·laboradors: Xavier Solanes, Ignacio López

Agraïments: Toni Pont, David Merino, Xavier Gil



Paper fabricat a partir de fusta amb certificat PEFC

Publicació cofinançada pel fons FEDER en el marc del projecte transfronterer Dynaforest, inclòs en el Programa de cooperació transfronterera Espanya-França-Andorra (POCTEEA).

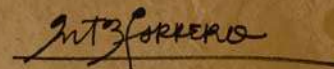
Biomassa forestal per a la producció d'energia tèrmica

Presentació

En un context de canvi climàtic i dependència energètica dels combustibles fòssils exteriors, l'aprofitament de biomassa forestal per a la producció d'energia tèrmica es presenta com una oportunitat per dinamitzar el sector, promoure la gestió forestal, crear noves empreses i generar ocupació. Malgrat que, a diferència d'altres països europeus, a Catalunya encara es tracta d'un recurs incipient, en els darrers tres anys ja s'ha pogut notar un lleuger protagonisme de la biomassa com a font d'energia: s'ha passat d'una producció total d'estella i pèl·let de 19.298 tones durant el 2008 a 95.000 tones l'any 2010, xifra que representa un 17% dels aprofitaments totals a Catalunya.

L'estella i el pèl·let són, per la seva autonomia i la relació entre el poder calorífic i el cost de producció, els dos biocombustibles d'origen forestal amb més capacitat per consolidar-se en el mercat de l'energia, i oferir la possibilitat d'incentivar el sector forestal. Un sector que necessita més que mai un incentiu com la biomassa, tant per disminuir la dependència envers els combustibles fòssils com per donar sortida als productes que s'extreuen en els tractaments silvícoles i de prevenció d'incendis.

Antoni Farrero



Director gerent
Centre de la Propietat Forestal



Biomassa forestal *i principals combustibles*



Biomassa forestal per a ús energètic:

conjunt de matèria orgànica d'origen forestal que es destina a la producció d'energia, provinent dels aprofitaments i els treballs de millora de les masses forestals o dels subproductes generats en les indústries de transformació de la fusta.

Segons el tractament de la biomassa forestal, es poden obtenir diferents biocombustibles.

Tipus de biomassa

► Provenient de treballs forestals (biomassa forestal primària)

Llenya:

fusta trossejada i amb mides heterogènies.



Estella:

biomassa trossejada en peces de dimensions petites.



► Provenient de la indústria de transformació de la fusta

Escorça:

producte obtingut d'extreure la coberta externa del tronc en el procés d'escorçament de la fusta.



Serradura:

partícules de fusta produïdes en els processos de transformació de la fusta.



Pèl·let:

fusta triturada, assecada i comprimida en forma de grànuls cilíndrics.



Briquetes de fusta:

fusta triturada, assecada i comprimida en forma de cilindres amb una mida superior a la del pèl·let.



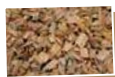
Font: Elaboració pròpia.

La humitat, la densitat, la granulometria i el poder calorífic són els principals factors que condicionen l'ús dels biocombustibles i les característiques de les instal·lacions.

Equivalència energètica entre els diferents combustibles



1 tona de fusta de pi
acabada de tallar
o 1,25 m³ de fusta de pi
acabada de tallar



640 kg d'estelles al 30%
d'humitat (en base humida)
o 2,48 m³ aparents d'estella

=



2.240 kWh

=



224 litres de
gasoil

=



457 kg de pèl·let

1 TEP (energia produïda per la combustió d'una tona de petroli) **equival a:**

11.630 kWh / 3,32 tones d'estella (30% d'humitat*) / 2,3 t de pèl·lets / 1,5 t de carbó / 1.166 m³ de gas natural / 0,9 t de propà / 42 gigajoules / 1.163 litres de gasoil

* Es refereix a la humitat en base humida.



Paràmetres de qualitat dels biocombustibles

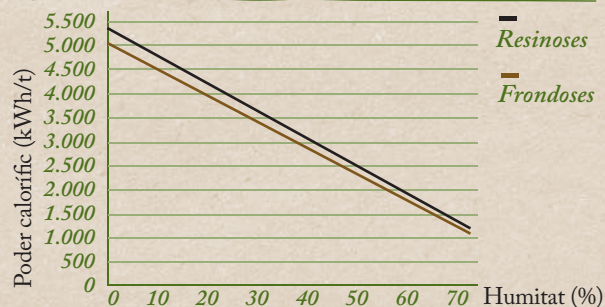
El poder calorífic

El poder calorífic és la quantitat de calor despresada per la combustió d'1 kg de combustible amb una pressió d'1 bar. Si l'aigua originada en la combustió es troba en forma de vapor s'anomena poder calorífic inferior (PCI), i si es troba en forma líquida s'anomena poder calorífic superior (PCS). Generalment s'expressa en kWh/t o kWh/kg.

1 kWh equival a 860,42 kcal

La humitat d'un biocombustible afecta el seu poder calorífic de manera molt més important que el de l'espècie forestal mateixa.

Variació del PCI teòric en funció de la humitat en base humida



Font: Bois Énergie 66.

PCI (kWh/t) en funció de la humitat*

Percentatge d'humitat *(%)	0	10	20	25	30	35	40	45	50	60
Espècie										
Alzina	5.307	4.709	4.110	3.811	3.512	3.212	2.913	2.614	2.314	1.716
Roure	4.975	4.410	3.844	3.562	3.279	2.996	2.714	2.431	2.148	1.583
Pi roig	5.338	4.736	4.135	3.834	3.533	3.232	2.931	2.631	2.330	1.728
Pinassa	5.296	4.698	4.101	3.802	3.504	3.205	2.906	2.607	2.309	1.711
Pi blanc	5.082	4.506	3.930	3.642	3.354	3.066	2.778	2.490	2.202	1.626
Pi pinyer	5.374	4.769	4.164	3.861	3.558	3.256	2.953	2.651	2.348	1.743
Pollancre	4.815	4.266	3.716	3.442	3.167	2.892	2.618	2.343	2.068	1.519
Castanyer	5.184	4.598	4.012	3.718	3.425	3.132	2.839	2.546	2.253	1.667
Faig	4.951	4.388	3.825	3.544	3.262	2.981	2.699	2.418	2.136	1.573

* Humitat de la fusta en base humida.

Dades de referència del PCI de la fusta en funció de la humitat per a les principals espècies.

Font: Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC).

Valors de referència:

*PCI de l'estella
(30% d'humitat
en base humida)* $3,5 \text{ kWh/kg} = 1.123 \text{ kWh/m}^3 = 3.011,5 \text{ kcal/kg}$

PCI del pèl·let (DIN Plus) $>18 \text{ MJ/kg} = > 4,9 \text{ kWh/kg} = > 3.055 \text{ kWh/m}^3 = > 4.321 \text{ kcal/kg}$



La humitat

La humitat és el factor que més influeix en el poder calorífic, ja que com més humitat conté el biocombustible, més baixa serà la quantitat de calor que aportarà.

Es pot calcular en base seca i en base humida:

- Hbh: humitat en base humida (*terme utilitzat pel sector bioenergètic*):

$$Hbh = (\text{pes humit} - \text{pes sec}) \times 100 / \text{pes humit}.$$

- Hbs: humitat en base seca (*terme utilitzat en la indústria de transformació de la fusta*):

$$Hbs = (\text{pes humit} - \text{pes sec}) \times 100 / \text{pes sec}.$$

* Pes humit: pes de la fusta a una humitat determinada. Pes sec: pes de la fusta anhidra, és a dir, quan la fusta ha perdut tota la humitat.

$$Hbs = hbb \times 100 / (100 - hbb) \quad \longleftrightarrow \quad Hbh = hbs \times 100 / (100 + hbs)$$

Exemple

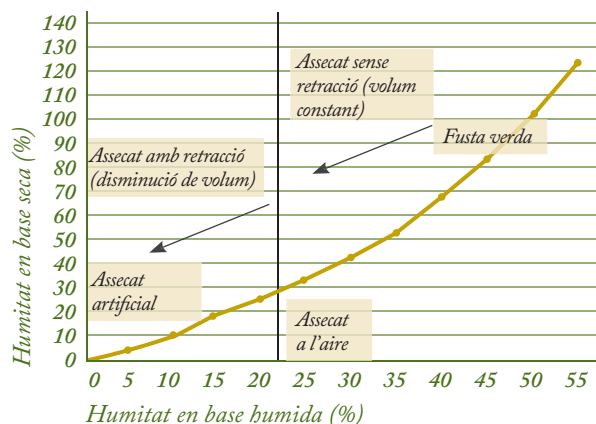
- L'hbh i l'hbs d'1 tona de fusta que conté 350 kg d'aigua i 650 kg de fusta anhidra és:

$$Hbh = (1.000 - 650) \times 100 / 1.000 = 35\%$$

$$Hbs = (1.000 - 650) \times 100 / 650 = 54\%$$

Quan es talla la fusta, l'hbh pot arribar a ser del 55% (depenent de les espècies). Si la deixem assecar a l'aire, la humitat pot disminuir i situar-se en un barem d'entre el 20% i el 25% (en funció de les condicions ambientals, la mida del material i l'espècie). Cal tenir present que aquest procés no comportarà una disminució de volum. Ara bé, per disminuir la humitat a valors inferiors cal sotmetre el material a un assecat artificial, i això comportarà una retracció del material.

Humitat de la fusta en base seca i en base humida



Font: Bois Énergie 66.



Per al bon funcionament de calderes petites i mitjanes (fins a 300 kW) és recomanable una humitat d'estella en base humida propera al 25-30%. En calderes mitjanes-grans (superiors a 300 kW) la humitat pot ser més elevada.

Pel que fa al pèl·let, el procés de fabricació mateix requereix una humitat de la fusta inferior al 12%, a partir d'un assecat artificial. Si el material compleix els requeriments establerts en les normes europees, es comercialitza amb un valor inferior o igual al 10%.

La granulometria

Es refereix a la distribució de les diferents mides presents en una mostra.

En el cas de l'estella, hi ha diverses normes europees que estableixen quina ha de ser la granulometria.

La norma austríaca ÖNORM M7133 estableix quins són els percentatges vàlids permesos de partícules grans i petites en cada classe d'estella (G30, G50 i G100):

Granulometria	Percentatge màxim de la mida de les partícules (mm)				Valors màxims permesos	
	Màx. 20%	60-100%	Màx. 20%	Màx. 4%	Àrea (cm²)	Longitud (cm)
G30 (partícules fines)	> 16	16-2,8	2,8-1	< 1	3	8,5
G50 (partícules mitjanes)	> 31,5	31,5-5,6	5,6-1	< 1	5	12
G100 (partícules gruixudes)	> 63	63-11,2	11,2-1	< 1	10	25

Norma austríaca ÖNORM M7133.

Pel que fa al pèl·let, el paràmetre alemany DIN Plus especifica els valors següents:

Concepte	Valor
<i>Llargada</i>	< 5 x D
<i>Diàmetre (D)</i>	4-10 mm

Font: DIN Plus.

La densitat

La densitat és la massa d'una quantitat de producte dividida pel volum que ocupa.

En el cas dels biocombustibles, es fan servir la densitat aparent i el volum aparent (metres cúbics aparents, map), ja que no es tracta de fusta massissa, perquè en una pila de fusta, d'estella o de pèl·let hi ha espais ocupats per aire.

Les unitats són kg/map o t/map.

La relació entre el volum aparent de la fusta en roll i el volum aparent de l'estella és la següent:

	map d'estella Granulometria fina G30*	map d'estella Granulometria mitjana G50*
1 map de fusta de conífera	1,80	2,17
1 map de fusta de frondosa	1,72	2,06

Relació entre el volum d'una pila de fusta i el volum d'una pila d'estella. Es considera un factor d'apilament de la fusta en roll de 0,7. Font: elaboració pròpia a partir de les dades del CTFC.

La densitat aparent està condicionada per la humitat.

A la taula següent es presenta com varia la densitat de l'estella en funció de la granulometria i la humitat:

Humitat en base humida (%)	Densitat aparent teòrica (kg/map)					
	Pins G30	Pins G50	Alzina G30	Alzina G50	Altres frondoses G30	Altres frondoses G50
10	235	195	350	290	325	270
15	245	205	355	295	330	275
20	250	210	360	300	335	280
25	260	220	370	310	350	290
30	280	235	400	330	375	310
35	300	250	430	360	405	335
40	325	270	465	390	435	365
45	355	295	510	425	475	395
50	390	325	560	465	525	435

Exemple

► Si s'estella (a granulometria fina) una pila de fusta en roll de 10 map de pi blanc, ocupará 18 map.

"Valors de la densitat aparent en funció de la humitat en estelles de conífera i frondoses de granulometria fina (G30) i mitjana (G50). Font: CTFC

Normes de qualitat de l'estella i el pèl-let

La qualitat del pèl-let i de l'estella determinen el bon funcionament de les calderes, sobretot en el cas de les calderes domèstiques.

Pèl-let

En el cas dels pèl-lets fabricats amb fustes tractades, poden produir problemes de corrosió a les calderes, fums tòxics i la formació de vitrificats en les cendres.

Si tenen poca duresa es poden desfer dins de la sitja, la qual cosa comporta molts problemes en els sistemes d'alimentació.

Estella

Si l'estella està molt humida o té unes longituds superiors a les que recomana la normativa o hi ha moltes branques i fulles, el PCI serà baix. Això pot comportar una combustió incompleta, la compactació del material dins la sitja i l'obstrucció dels sistemes d'alimentació.

L'existència de normes de qualitat és molt important per donar una garantia al consumidor del producte. De moment es prenen com a valors de referència les normatives aplicades a diferents països, com l'ÖNORM M7133 o la UNE-CEN/TS 14961, pel que fa a l'estella, o la ÖNORM M7135, la DIN 51731 o la DIN Plus pel que fa al pèl-let.

Aspectes pràctics

Característiques	Estella	Pèl-let
Longitud	15-30 mm	< 5 x D
Amplada	10-15 mm	Diàmetre (D): 4-10 mm
Gruix	5 mm	
Humitat	30%	< 10%
PCI	3,5 kWh/kg	> 5 kWh/kg
	1.123 kWh/m ³	> 3.055 kWh/m ³
	3.011,5 kcal/kg	> 4.321 kcal/kg
Densitat aparent	280 kg/map (<i>confèrera G30</i>)	650 kg/m ³

L'índex de cendres

És el percentatge que hi ha entre la massa de cendres i la massa de fusta anhidra abans i després de la combustió.

L'índex variarà segons el contingut en escorça del producte, ja que és la part que conté més minerals. La fusta petita i la brancada contenen una proporció més elevada d'escorça que la fusta de diàmetres superiors.

Les cendres són un bon fertilitzant (ric en potassi) per als jardins i els espais verds.

Producte	Índex de cendres
Pèl-lets i estelles (sense escorça)	0,5%
Estelles amb escorça	De l'1% al 2%
Escorces	Del 4% al 10%



La biomassa en les calderes

El consum de combustible

Per saber el consum anual de biomassa és imprescindible conèixer les dades de la potència de la caldera i saber quin combustible es consumirà.

La potència de la caldera normalment es mesura en kilowatts (kW), i és una unitat que mesura la transferència d'energia per unitat de temps.

$$1 \text{ kW} = 1.000 \text{ watts (W)}$$

$$1 \text{ W} = \text{Joule (J)} / \text{segon (s)}$$

La potència es pot mesurar en qualsevol instant de temps, mentre que l'energia ha de ser mesurada durant un cert període. En el cas de les calderes, la unitat utilitzada per mesurar l'energia és el kilowatt hora (kWh).

Per calcular el consum anual d'estella cal conèixer les hores de funcionament de la caldera. Com a referència, en una caldera domèstica es considera que el funcionament és d'entre 1.600 i 2.000 h/any.

Consum anual de biomassa (t/any)=

$$\frac{\text{potència de la caldera (kW)} \times \text{hores de funcionament a l'any (h/any)}}{\text{PCI de la biomassa (kWh/t)}}$$

Exemple

- Una caldera de 50 kW de potència, que funciona 1.800 hores a l'any i que utilitza estella amb un PCI de 3.500 kWh/t consumirà:

Consum anual de biomassa (t/any) =

$$50 \text{ kW} \times \frac{1.800 \text{ h}}{\text{any}} \times \frac{1 \text{ t}}{3.500 \text{ kWh}} = \frac{25,71 \text{ t}}{\text{any}}$$

Cost anual de la biomassa

El cost anual de la biomassa es calcula multiplicant el consum anual pel cost unitari.

Cost anual de biomassa (t/any) =

$$\frac{\text{potència de la caldera (kW)} \times \text{hores de funcionament a l'any (h/any)} \times \text{cost unitari de la biomassa (€/tona)}}{\text{PCI (kWh/t)}}$$

Exemple

- Per exemple, si en el cas anterior suposem un cost de l'estella de 85 €/t, el cost anual de la biomassa és:

Cost anual de la biomassa (€/t) =

$$50 \text{ Kw} \times \frac{1 \text{ t}}{3.500 \text{ kWh}} \times \frac{1.800 \text{ h}}{\text{any}} \times \frac{90 \text{ €}}{\text{t}} = \frac{2.185,7 \text{ €}}{\text{any}}$$



Per a diferents potències, si comparem el cost anual de diferents combustibles, veurem que l'estella és la que presenta una despesa més baixa.

Potència (kW)	20	35	50	100	200	300	400	500
Cost anual de l'estella (€/any)*	925	1.620	2.315	4.628	9.257	13.885	18.515	21.143
Cost anual del pèl·let (€/any)*	1.584	2.520	3.600	7.200	14.400	21.600	28.800	36.000
Cost anual del gas natural (€/any)*	1.692	2.961	4.230	8.460	16.920	25.380	33.840	42.300
Cost anual del gasoil (€/any)*	2.556	4.473	6.390	12.780	25.560	38.340	51.120	63.900

**Es consideren els preus següents: 90 €/t per a l'estella, 220 €/t per al pèl·let, 0,040 €/kWh per al gas natural i 0,071 €/kWh per al gasoil.*



La instal·lació de la caldera

Esquema general d'una instal·lació de biomassa



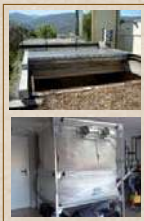
Sitja

Dipòsit que emmagatzema la biomassa i que permet que el sistema sigui autosuficient en l'alimentació. Es pot situar en el mateix edifici o en un magatzem separat. Pot estar soterrada, al mateix nivell de la caldera o en una cota superior.



Sitja soterrada annexa a l'edifici, dins de l'edifici i a l'exterior de l'edifici.

Hi ha diferents tipus de sitja segons les seves dimensions i l'espai disponible, i poden estar construïdes d'obra o bé ser de tipus contenidor (metàl·lic o tèxtil).



En el disseny de les sitges en nous edificis es calcula que la capacitat de la sitja ha de garantir la demanda de combustible durant dues setmanes. Cal considerar que les característiques tècniques han de complir la legislació vigent segons el Reglament d'instal·lacions tèrmiques als edificis (RITE).

Alimentador

Dispositiu que transporta la biomassa des de la sitja a la caldera. Hi ha diferents sistemes segons el tipus de combustible que s'utilitzi: vis sens fi, ballestes, pisos mòbils, sistemes pneumàtics.

Caldera

En el mercat hi ha una ampla gamma de models i marques comercials de calderes de biomassa, la majoria fabricades a països europeus (Finlàndia, Àustria, Itàlia), amb diferents nivells d'automatització, emissions molt baixes (fins a 50 mg/m³) i rendiments del 92%, el mateix que les calderes de gas i gasoil.

Escala	Potència	Tipus d'instal·lació
Petita	Inferior a 60 kW	Habitatges, petites instal·lacions
Mitjana	De 60 a 500 kW	Edificis, equipaments i instal·lacions municipals, indústries agroalimentàries, granges, hotels
Gran	Superior a 500 kW	Xarxes de calor, plantes industrials



Acumulador d'inèrcia

És un dipòsit d'aigua que permet:

- *Equilibrar hidràulicament l'entrada i la sortida d'aigua dins el sistema.*
- *Respondre al moment a la demanda de calor.*
- *Absorbir la calor generada pel sistema quan aquesta no és requerida.*

Cal considerar que és opcional per a instal·lacions petites.

Distribuïdor de calor

Conjunt de radiadors, bombes o conductes que permeten la transmissió de calor.

Disseny de la instal·lació

A l'hora de dissenyar la instal·lació s'han de considerar diferents aspectes per dimensionar adequadament la potència i garantir el funcionament correcte de tot el sistema.

Càlcul de la potència que cal instal·lar (kW)

Les necessitats tèrmiques d'un edifici estan molt condicionades pel seu grau d'aïllament.

Dades de referència:

Aïllament òptim	50 W/m ²
Aïllament deficient	80-100 W/m ²

En cas que s'instal·li un acumulador d'inèrcia és important que es dimensioni correctament. D'aquesta manera s'aconseguirà donar resposta a les demandes momentànies d'aigua calenta sanitària i que la caldera treballi de manera constant, amb la qual cosa s'allargarà la vida de la instal·lació i es millorarà el rendiment global.

Ubicació de la instal·lació i el disseny de la sitja

En el disseny d'una instal·lació és molt important analitzar bé el lloc on s'ubicaran la sitja i la caldera, de manera que:

- *La distància entre la caldera i la sitja sigui la menor possible. Això permet reduir la instal·lació de mecanismes intermedis, amb la qual cosa disminueix el cost de la instal·lació i s'eviten possibles avaries.*
- *Es faciliti al màxim l'accés dels vehicles de descàrrega de la biomassa.*
- *La cota de nivell entre la caldera i la sitja (sigui soterrada, al mateix nivell de la caldera o en una cota superior) faciliti al màxim les operacions de descàrrega del camió a la sitja.*
- *Es permeti l'accessibilitat a les diferents parts del sistema, per facilitar-ne el control i el manteniment.*

Una elecció adequada en la ubicació de la sitja facilita l'accés i la descàrrega de la biomassa, amb la qual cosa es disminueix el cost del combustible.

Elecció del tipus de combustible

És molt important saber des del començament quin combustible es farà servir, ja que això determinarà quins seran els sistemes d'alimentació i el volum de la sitja.

Estella

Avantatges	Inconvenients
Més econòmic que el pèl·let.	<i>Material més heterogeni (humitat, densitat, granulometria).</i>
Permet potenciar la gestió forestal dels boscos propers als centres de consum.	<i>Manipulació i transport més difícils.</i>
És un producte local que pot dinamitzar les economies rurals.	<i>Necessitat d'accés fàcil per als camions en la descàrrega de l'estella.</i>
Tot i que el cost de la inversió de la caldera és més gran que el d'una caldera de gas o de gasoil, el cost més baix de l'estella amortitza en pocs anys el cost total de la instal·lació.	<i>Sistemes d'alimentació més cars que fan que l'amortització sigui més llarga en instal·lacions petites.</i>
	<i>Necessitat de més espai per a la sitja.</i>
	<i>L'obra civil pot ser més costosa.</i>

Pèl·let

Avantatges	Inconvenients
Més poder calorífic que l'estella.	<i>El cost del pèl·let és superior al de l'estella, i això fa que sigui menys competitiu econòmicament davant del gas, sobretot en instal·lacions petites.</i>
Característiques d'humitat, densitat i granulometria constants i homogènies.	
Facilitat de transport i manipulació.	
En sitges instal·lades en espais de difícil accés, més facilitat de descàrrega.	
Necessitat de menys espai per a la sitja. Fàcil emmagatzematge del pèl·let en contenidors flexibles o en sacs de 15 kg.	
Més flexibilitat i cost més baix en els sistemes d'alimentació de la sitja a la caldera.	
El baix cost del pèl·let amortitza el cost inicial de la instal·lació.	



Webs *d'interès*

Infobiomassa

www.ctfc.es/infobio

Institut Català d'Energia (ICAEN):

www20.gencat.cat/portal/site/icaen

Institut per a la Diversificació i l'Estalvi d'Energia (IDAE, per la sigla en castellà):

www.idae.es

Associació Espanyola de Valorització Energètica de la Biomassa (AVEBIOM):

www.avebiom.org

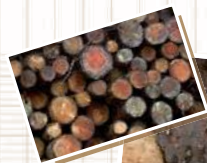
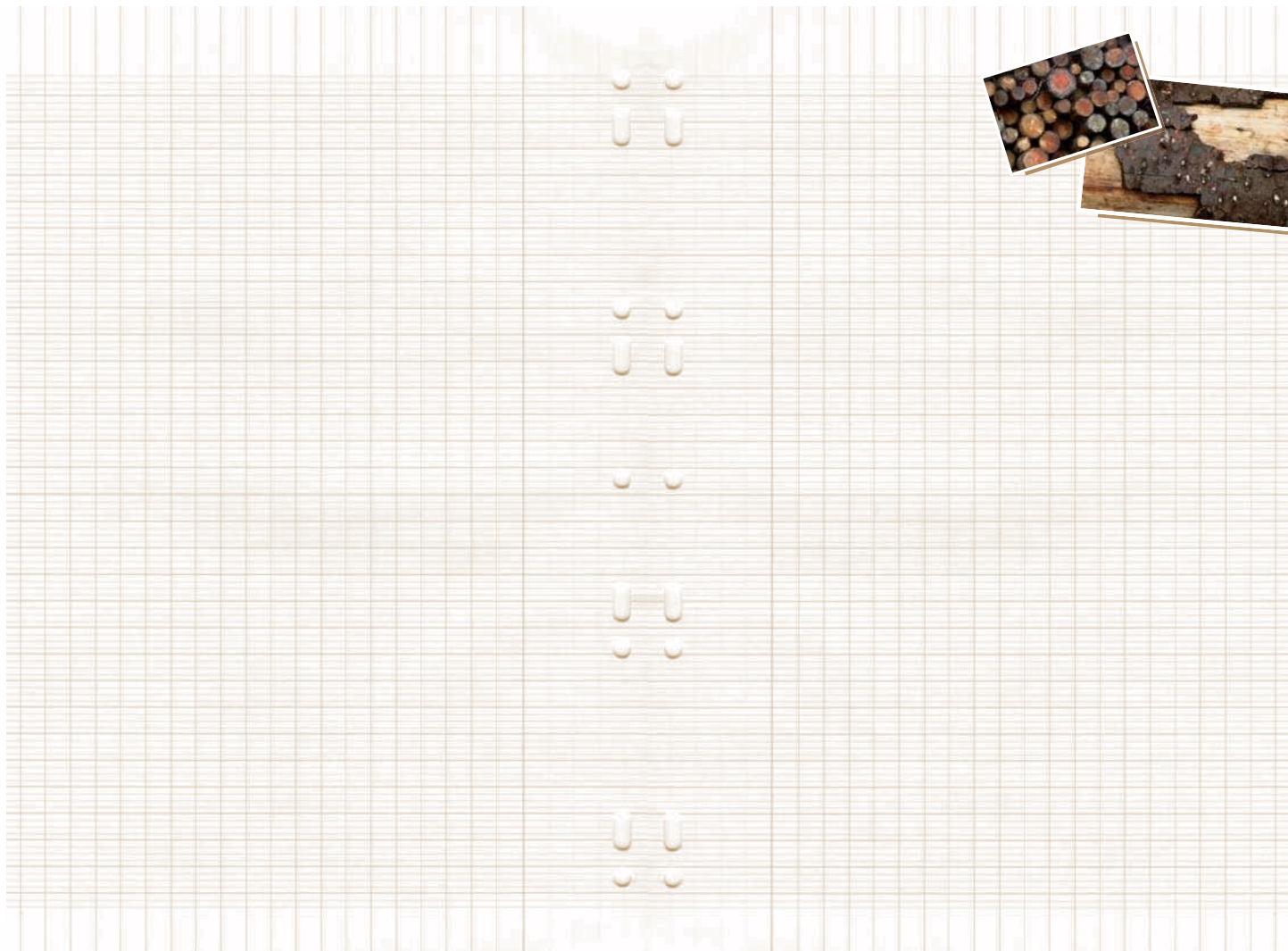
Observatori de la biomassa:

<http://observatoribiomassa.forestal.cat>

Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Ali- mentació i Medi Natural:

www.gencat.cat/darp

Notes



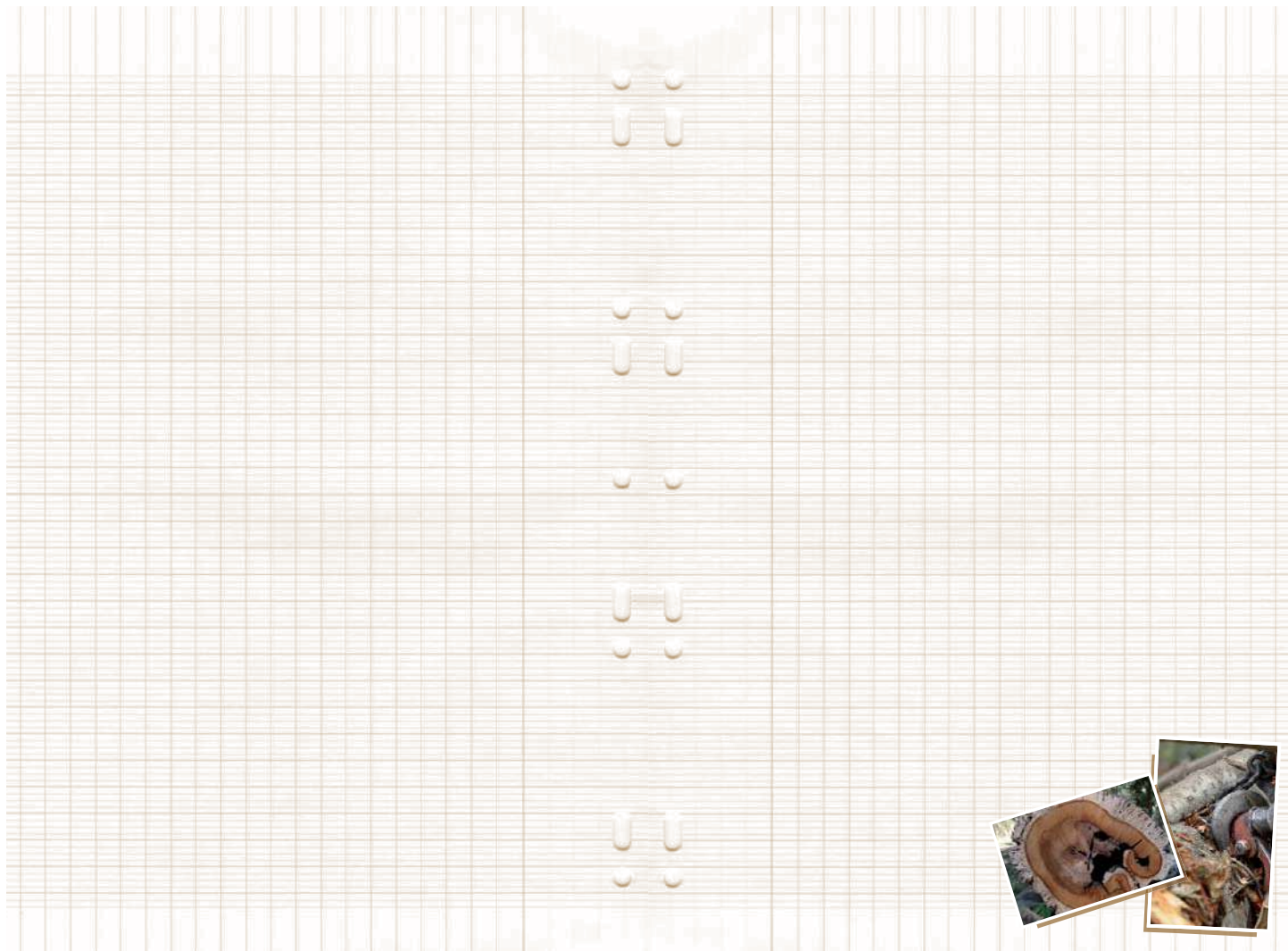




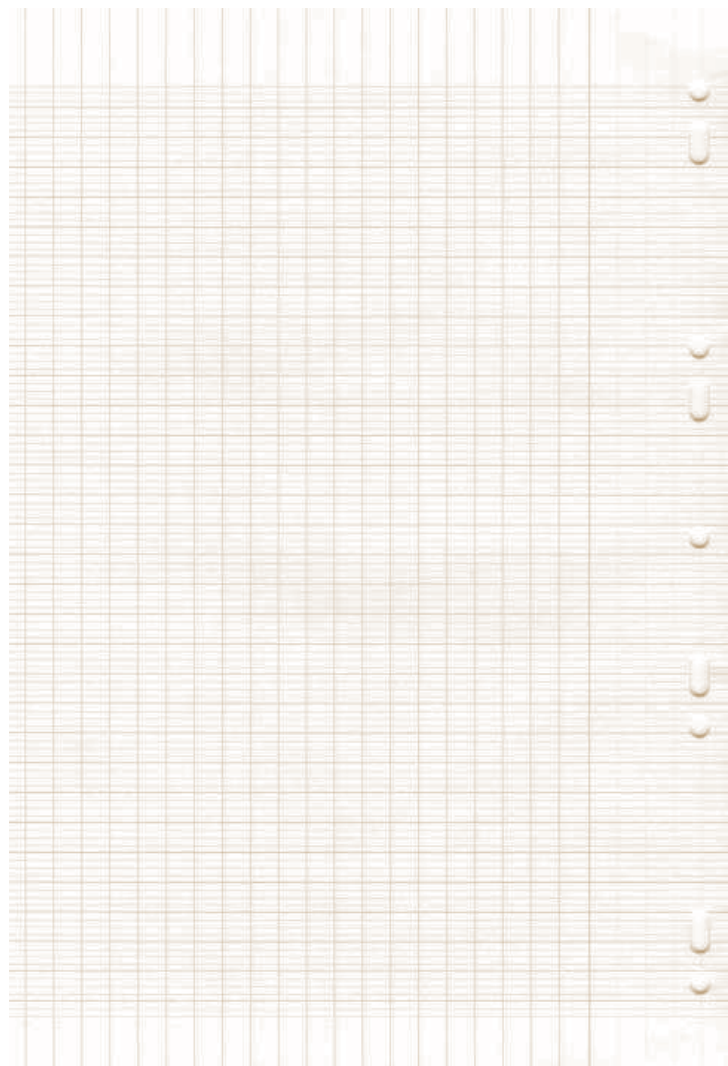














Projecte transfronterer de dinamització i estructuració de
municipis propietaris de boscos

Socis:



Generalitat de Catalunya
Departament d'Agricultura, Ramaderia,
Pesca, Alimentació i Medi Natural



Generalitat de Catalunya
Departament de Territori
i Sostenibilitat



Centre de la Propietat
Forestal



Col·laboradors



Cofinanciat per:



Generalitat de Catalunya

