

L'aprofitament energètic de la biomassa forestal residual

Jordi Brescó i Ruiz



1. Biomassa: tipologies, transformació per a la seva valorització energètica

a) Introducció

S'entén per biomassa qualsevol tipus de matèria orgànica renovable d'origen vegetal, animal o procedent de la seva transformació natural o artificial. Aquests materials tenen com a nexa comú el seu origen directe o indirecte del procés de fotosíntesi. Per això es presenten de forma periòdica i no limitada en el temps, és a dir, de forma renovable. La biomassa, com la resta d'energies renovables (excepte la geotèrmia), prové en última instància de l'energia solar. De forma general es pot classificar la biomassa en:

- Biomassa vegetal. El procés fotosintètic fa créixer la biomassa vegetal, que produeix matèria orgànica. La biomassa vegetal es troba en la base de la piràmide tròfica i és l'aliment necessari dels animals per al seu creixement.
- Biomassa animal. Durant el seu metabolisme i al final del seu cicle de vida produeix també residus aprofitables energèticament, que donen lloc a la
- Biomassa residual. Qualsevol tipus de rebuig de matèria orgànica que provingui dels éssers vius, ja sigui per via natural o deguda a la intervenció de les tecnologies de l'home; residus orgànics que es consideren subproducte.

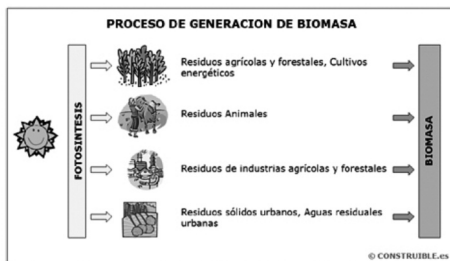
Origen de la biomassa: la fotosíntesi

L'energia que pot obtenir-se a partir de la biomassa prové de la llum solar, que gràcies al procés de fotosíntesi aprofitada per les plantes verdes mitjançant reaccions químiques en les cèl·lules vives, agafa diòxid de carboni de l'aire i el transforma en substàncies orgàniques.

Eficiència del procés de la fotosíntesi

Tenint en compte les reaccions que governen la fotosíntesi, es pot obtenir el valor teòric del rendiment fotosintètic, que és aproximadament d'un 30%. Encara que si es considera que no tota la radiació solar que arriba a la Terra és vàlida per al procés fotosintètic (un 40% aproximadament) i que d'aquest percentatge només un 70% és absorbit per les fulles, això

ens donaria un rendiment d'un 8% aproximadament si no hi hagués pèrdues; considerant un 40% de pèrdues degudes a la respiració vegetal tindriem un rendiment d'un 5%. Això significa que es necessiten uns 88 kWh solars per fabricar un kg de glucosa ($C_6H_{12}O_6$). Algunes plantes són més eficients, com ara la canya de sucre, el blat de moro i altres de zones desèrtiques.



Font: construible.es

b) Tipologies de biomassa

Caracteritzacions energètica de la biomassa

Existeixen diferents tipus o fonts de biomassa que poden ser utilitzats per subministrar la demanda d'energia d'una instal·lació. Una de les classificacions més acceptada és la següent:

- Biomassa natural: és la que es produeix espontàniament en la naturalesa sense cap tipus d'intervenció humana.
- Biomassa residual, que es pot dividir en:
 - Biomassa residual seca: s'inclouen en aquest grup els subproductes sòlids no utilitzats en les activitats agrícoles, forestals i en els processos d'indústries agroalimentàries i de transformació de fusta, i que per tant, són considerats residus.
 - Biomassa residual humida: són els abocaments biodegradables, tals com aigües residuals urbanes i industrials i els residus ramaders (purins).
 - Cultius energètics: són cultius realitzats amb l'única finalitat de produir biomassa transformable en combustibles.
 - Biocarburant: encara que el seu origen es troba en la transformació tant de la biomassa residual humida (per exemple, reciclant olis) com en la biomassa residual seca rica en sucres (blat de moro...) o en els cultius energètics (gira-sol, patata, etc.) per les seves característiques i usos finals exigeixen una classificació diferent a les anteriors.

Residus agrícoles

Finalment existeix una gran quantitat de residus amb interès industrial i energètic, que localment poden tenir alguna utilitat, però que la seva eliminació constitueix

un problema en els treballs d'explotació agrícola. Aquesta última categoria de residus, que són els que ens interessen aquí, es produeix principalment en els següents cultius. Aquests es poden dividir en dues tipologies:

- Residus de cultius llenyosos.
- Residus de cultius herbacis.

Dels residus agrícoles llenyosos podem destacar els generats de les podes d'oliveres, vinyes i fruiters. Tenen un elevat poder calorífic, estan presents en la majoria de les zones agrícoles del país i la seva recollida, després dels treballs de poda, pot mecanitzar-se amb facilitat. Els residus dels cultius industrials presenten normalment una baixa incidència (menys del 10% del total dels residus agrícoles espanyols). L'altre gran grup de residus agrícoles el constitueixen els residus herbacis, sempre en gran competència amb els altres usos agropecuaris (pinsos...). Pel seu tractament poden separar-se en:

- Cereals d'hivern (blat, ordi, etc.).
- Cereals de primavera (blat de moro, arròs, etc.).
- Cultius de finalitat industrial (tabac, cotó, gira-sol).

Evidentment, els residus cereals constitueixen la partida més elevada dels residus agrícoles (més d'un 60% del total a l'Estat espanyol). La recollida d'aquests residus està mecanitzada i pot realitzar-se amb màquina empacadora, que recull directament la palla del camp, on l'havien deixat les màquines recollidores. Els residus de cultius industrials presenten una baixa incidència (menys del 10%) en el total dels residus agrícoles espanyols, però al Principat poden esdevenir molt importants, donada la gran quantitat de tabac que es conrea. Aquest tipus de residus, al contrari que els de cereals, representen un problema d'eliminació a l'agricultor, ja que la incorporació al sòl d'alguns d'ells no és aconsellable per la seva lenta descomposició.

Residus forestals

El bosc suposa un medi considerable de transformació de l'energia solar. Realment, els residus forestals són els que, durant els segles, han constituït la font energètica més important de la humanitat. Els residus forestals estan constituïts per branques, crostes, serradures, fulles, arrels...

D'altra banda, els residus que es produeixen al bosc es dividiran en dos grans grups, per facilitar-ne l'estudi:

- Residus de tractament silvícoles
- Residus de tall i elaboració de fusta

Els primers provenen de la necessitat de realitzar tractaments silvícoles per al manteniment i la millora dels boscos forestals mitjançant podes, neteja de matolls, etc. Aquests treballs generen uns residus que han de ser retirats dels boscos, ja que són un factor de risc importantíssim per a la propagació de plagues i incendis forestals.

Vistos els elevats costos que suposen la realització d'aquests tractaments, la possibilitat de l'aprofitament energètic d'aquests residus pot suposar un ingrés que faciliti la realització d'aquest tipus d'activitats. Malgrat això, fa falta que en la situació energètica actual, els preus de l'energia siguin suficients per cobrir els costos d'aquests treballs amb finalitats exclusivament energètiques.

Residus ramaders

Tradicionalment, els residus produïts pels animals constitueixen l'única font fertilitzant en terres agrícoles. Amb l'aparició de fertilitzants, es deixen d'utilitzar en moltes explotacions, ja que hi comença a haver una separació entre agricultura i ramaderia.

Aquí és on pren importància la tecnologia energètica, que podria cobrir les necessitats energètiques de la granja o l'explotació ramadera. Tractant-se de residus amb una humitat elevada, no és convenient, per al seu tractament, utilitzar processos termoquímics, pel seu baix rendiment. La tecnologia de digestió anaeròbia presenta grans avantatges per a la seva aplicació en aquest tipus de biomassa, a causa que:

- es tracta de residus localitzats,
- els residus tenen una gran quantitat d'aigua,
- aporten un elevat contingut de nutrients pel creixement bacterià, i
- l'efluent del procés millora notablement la concentració de nutrients (nitrogen i fòsfor) respecte al residu original, això suposa un gran avantatge per a la seva utilització posterior en agricultura.

Aquest últim punt permet incidir en la qüestió que l'obtenció d'energia (en forma de gas combustible) mitjançant la digestió anaeròbia no suposa l'eliminació d'aquests residus ni en la privació d'utilitzar-los com a fertilitzants. El residu ramader, després de la digestió, està enriquit en elements fertilitzants.

Residus industrials

El nombre de sectors industrials que generen residus orgànics és molt ampli; malgrat això, en molts d'aquests sectors, la producció real de residus és petita, ja que, generalment, aquests productes s'utilitzen com a subproductes o font energètica i, quan no tenen utilitat i es generen en petites indústries, i s'incorporen freqüentment els residus sòlids urbans.

Residus sòlids urbans

Els nuclis de població produeixen diàriament grans quantitats de residus, que es poden considerar dividits en dos grans grups: els residus sòlids urbans (RSU) i les aigües residuals urbanes.

Es denominen RSU aquells materials resultants d'un procés de fabricació, transformació, utilització, consum o neteja en què el seu posseïdor o productor els abandona.

La composició d'aquests residus és funció de diversos factors, entre els quals destaquen el nivell de vida de la població, el període estacional, el tipus d'hàbitat i el clima. La fracció orgànica dels residus és al voltant del 50% en pes. Com a exemple, cal esmentar que la producció mitjana estimada de RSU a Espanya és d'1 kg/hab./dia aproximadament. Tenint en compte la seva composició, els RSU suposen menys del 5% del volum total de biomassa residual generada a Espanya.

Ara bé, aquests són la font de biomassa més aprofitable perquè:

- és l'única font de la biomassa residual que té un servei de recollida organitzada,
- la seva recollida i eliminació són totalment imprescindibles,
- a més de contenir biomassa (fracció orgànica), els RSU permeten la recuperació de metalls, vidre i altres productes reciclables,
- s'estima que el creixement de la seva producció és al voltant del 5% anual.

El correcte tractament dels RSU implica dues fases:

- recollida i transport,
- aprofitament o eliminació (mètodes termoquímics per produir calor o combustibles diversos)

La línia, però, que està seguint Catalunya és la de convertir la fracció orgànica dels RSU en compost A (fertilitzant) o compost B (utilitzat com a graves i sorres en obra pública) atès que es determina com a primera la necessitat d'adobs per al sòl, davant la necessitat de generació energètica. Aquest procés es porta a terme en els ecoparcs.

Aigües residuals urbanes

Les aigües residuals urbanes són els líquids procedents de l'activitat humana que porten en la seva composició gran part d'aigua i que, generalment, són abocats als rius i al mar. La seva composició és tant inorgànica (sals, terres, etc.) com orgànica (materials biodegradables), per això la seva fracció sòlida conté una gran quantitat de biomassa residual.

El procés de depuració d'aquesta aigua consisteix, bàsicament, en un tractament primari de separació de la matèria en suspensió seguit, generalment, d'un tractament biològic, amb oxigen o sense, per tenir al final una aigua depurada.

Aquests procediments generen uns llots (primaris i biològics) que contenen tota la matèria orgànica que estava present en l'aigua residual, per això aquests llots tenen una càrrega contaminant molt elevada. La concentració mitjana en matèria orgànica oscil·la al voltant del 5% i es produeixen a raó d'uns 2 litres/hab./dia. Això suposa una generació de biomassa residual de 36,5 kg/hab./any.

El tractament d'aquests llots per al seu aprofitament energètic més conegut i utilitzat és la digestió anaeròbia per produir gas combustible (biogàs). A més, s'obtenen grans quantitats de llots estabilitzats que tenen una aplicació en l'agricultura com a adob orgànic.

Conreus energètics i biocarburants

Existeixen determinats cultius que es realitzen exclusivament amb vista al seu aprofitament energètic. També poden tenir un aprofitament energètic diferents tipus de productes agrícoles.

Es poden diferenciar dos tipus de cultius energètics:

- Els orientats a la producció de materials llenyosos, mitjançant espècies de creixement ràpid i amb torns d'aprofitament de cicle curt i espècies herbàcies caracteritzades per la seva gran producció de materials combustibles. Tots aquests materials poden ser orientats a un aprofitament via termoquímica o a l'obtenció de biocombustibles.

- Els orientats a la producció d'altres tipus de materials vegetals mitjançant espècies de cicle anual, destinada a l'obtenció de biocombustibles.

A partir d'aquests productes derivats dels cultius energètics i els excedents agraris poden obtenir-se mitjançant diferents tipus de processos industrials combustibles líquids capaços de substituir de manera total o parcialment els combustibles fòssils convencionals que s'utilitzen als motors dels vehicles.

És possible utilitzar com un combustible l'etanol obtingut a partir de materials vegetals. Qualsevol producte que contingui sucres o hidrats de carboni fermentables, midó o cel·lulosa pot servir com a matèria primera per a l'obtenció d'alcohols, encara que en molts casos el rendiment dels diferents productes en fa desaconsellable l'ús. Les matèries primeres es classifiquen en tres grups, que són:

- sucrares (suc de fruita, canya de sucre...),
- amilàcies (cereals, tubercles, arrels de gira-sol...), i
- cel·lulòsiques (fusta, palles de cereals...).

També és possible utilitzar com a combustible el resultat del procés d'esterificació de diferents olis vegetals.

c) Característiques energètiques de la biomassa

Normalment, el contingut energètic de la biomassa es mesura en funció del poder calorífic del recurs, encara que per a alguns, com és el cas de la biomassa residual humida i els biocarburants, es determina en funció del poder calorífic del producte energètic obtingut en el seu tractament.

Els combustibles que contenen aigua i hidrogen, com és el cas de la biomassa, generen aigua de combustió que es presenta en forma de vapor. D'aquesta forma, la calor de combustió utilitzable es veu disminuïda per la calor de vaporització de l'aigua. El PCS és la calor obtinguda considerant que l'aigua es refreda fins a l'estat líquid.



Aquesta és la calor de combustió que es determina mitjançant una bomba

calorimètrica seguint la norma ASTM D2015 -77. En tots els processos de combustió interessa només la calor referida a l'aigua en forma de vapor, és a dir, el poder calorífic inferior (PCI), perquè la calor de condensació del vapor d'aigua, contingut en el gas, no resulta utilitzable a la pràctica

Combustible + oxigen $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (gas)

La següent taula recull el poder calorífic inferior dels recursos de la biomassa més habituals en funció dels continguts d'humitat.

Producto	PCI a humedad x (kJ/kg)						
	X	PCI	x	PCI	x	PCI	
Leña y ramas	0	19.353	20	15.006	40	10.659	
Serraduras y virutas	0	19.069	15	15.842	35	11.537	
Orujillo de oliva	0	18.839	15	15.800	35	11.746	
Cáscara de almendra	0	18.559	10	16.469	15	15.424	
Corteza							
Coníferas	0	19.437	20	15.527	40	11.077	
Fronchosas	0	18.225	20	14.087	40	9.948	
Poda de fruteros	0	17.890	20	13.863	40	9.781	
Paja de cereales	0	17.138	10	15.173	20	13.209	
	30	11.286					

Taula 1. Contingut energètic d'alguns recursos de la biomassa residual seca

La quantitat de biogàs generat i el seu contingut energètic depenen de les seves característiques del substrat i de la tecnologia utilitzada. A la següent taula s'indica el potencial energètic mitjà d'alguns recursos.

Substrato	Cantidad de gas a 30°C en l/kg de residuo seco	Contenido en metano (%)	PCI (MJ/m ³ N de biogás)
Estiércol con paja	286	75	25.50
Excrementos de vaca	237	80	27.17
Excrementos de cerdo	257	81	27.60
Agua residual urbana	100 (por m ³ de agua tratada)	65	22.15

Taula 2. Contingut energètic d'alguns recursos de la biomassa residual humida

L'energia que s'allibera de la combustió de la biomassa és la continguda en els enllaços de les molècules orgàniques que la formen. El contingut energètic de la biomassa, coneixent la seva composició elemental, ve donat per la fórmula:

$$\text{PCS} = 8100 \text{ C} + 34000 (\text{H} - \text{O}/8) + 2500 \text{ S}$$

On H, C, O i S representen la proporció en pes i, per tant per un del combustible en hidrogen, carboni, oxigen i sofre, aquest últim menyspreable en la majoria de la biomassa obtenint el resultat en kilocaloria/kg.

2. Sistemes d'aprofitament energètic

a) Digestió anaeròbia

La digestió anaeròbia és un procés biològic de fermentació en absència d'oxigen, mitjançant el qual la matèria orgànica es degrada a causa de l'acció d'un conjunt de microorganismes i és transformada en biogàs.

En general, es tracta d'un procés complex en el qual intervenen diversos grups de microorganismes. De la descomposició de la matèria, n'esdevenen els àcids grassos volàtils, que seran l'aliment dels microorganismes metanogènics. Aquests microorganismes són els que produeixen el biogàs dins del reactor.

El biogàs està format principalment per metà (CH_4) i diòxid de carboni (CO_2), a més d'altres components com l'àcid sulfhídric (H_2S), hidrogen (H_2), amoníac (NH_3), nitrogen (N_2), monòxid de carboni (CO) i oxigen (O_2). Un dels objectius de la digestió anaeròbia és la producció d'aquest gas, ric en metà, que posteriorment pot ser utilitzat com a combustible.

L'obtenció de fertilitzant orgànic d'alta qualitat, que redueix la concentració de les substàncies orgàniques contaminants que van a parar al medi aquós o al sòl conreat és un dels altres objectius d'aquest procés de fermentació.

Una fermentació controlada de la biomassa esdevé una reducció del 90% de l'efecte hivernacle provocat pels gasos de la biomassa sense tractament.

a1. Etapes del procés de tractament

• Etapa 1: hidròlisi

La hidròlisi és la primera fase de la descomposició de la matèria orgànica. En aquesta fase participen els bacteris hidrolítics. El procés d'aquesta etapa consisteix en el trencament de les membranes cel·lulars i la descomposició de les macromolècules orgàniques (glúcids, lípids, proteïnes) en molècules més simples (àcids orgànics, alcohols, cetones, hidrogen i diòxid de carboni), que poden ser fàcilment atacades pels microorganismes.

• Etapa 2: acidogènesi

Els compostos solubles intermedis (àcids orgànics, alcohol...) són fermentats o oxidats anaeròbiament pels bacteris acidogènics i transformats a àcids grassos de cadena curta, alcohols, diòxid de carboni i hidrogen. Posteriorment, gràcies a la intervenció de bacteris acetogènics, els àcids grassos de cadena curta són transformats a àcid acètic, hidrogen i diòxid de carboni.

• Etapa 3: metanogènesi

En la darrera fase o metanogènesi intervenen els bacteris metanogènics, que utilitzen l'àcid acètic com a font de matèria i energia, i el diòxid de carboni i l'hidrogen per a la respiració. Com a subproducte de la respiració produeixen metà. Tot aquest procés de conversió de la matèria orgànica en biomassa bacteriana és un procés de transformació lent, això justifica que en línies generals es necessitin diverses setmanes, fins i tot un o dos mesos de posada en marxa per aconseguir una producció contínua i estable de gas.

a2. Paràmetres de treball

- Temperatura

La digestió anaeròbia es pot desenvolupar a tres rangs diferents de temperatura: psicròfil (< 20°C), mesòfil (30-35°C) i termòfil (50-70°C).

- pH

Entre 6.8-7.6

- Temps de retenció hidràulic (TRH)

El temps òptim de fermentació oscil·larà entre 35 i 40 dies.

a3. Residus aplicables al tractament

- Residus agrícoles
- Cultius energètics
- Residus industrials orgànics
- Aigües residuals
- Fracció orgànica dels residus sòlids urbans

Alguns dels exemples d'aquests residus són: palla, branques, herba, blat de moro, sang, purins i fems, intestins d'animals, *orujo*, llots de depuradores, etc.

b) Gasificació i piròlisi

El procés de gasificació bàsicament consisteix en la transformació del combustible a alta temperatura en un gas sintètic format per molècules més simples. El gas sintètic o gas de síntesi té un poder calorífic baix, però té l'avantatge de ser un vector energètic que posteriorment podrà utilitzar-se per generar energia elèctrica, tèrmica o realitzar una separació físicoquímica d'algun dels seus elements (hidrogen, monòxid de carboni, diòxid de carboni o metà entre d'altres).

b1. Descripció del procés complet

Suposant que es disposa d'un combustible heterogeni que no compleix les especificacions de granulometria, continguts d'impropis, etc. previs a l'entrada al reactor de gasificació, es mostren quines són les etapes necessàries que cal seguir per a la seva valorització energètica. La descripció del procés es basa en l'explicació de les operacions unitàries que es produeixen en els diferents mòduls de la planta. Els mòduls bàsics estan descrits en la figura següent.

- Pretractament previ
- Gasificació en dues etapes: piròlisi + gasificació.
- Vitrificació o *smelting*
- Rentat de gasos
- Valorització del gas de síntesi

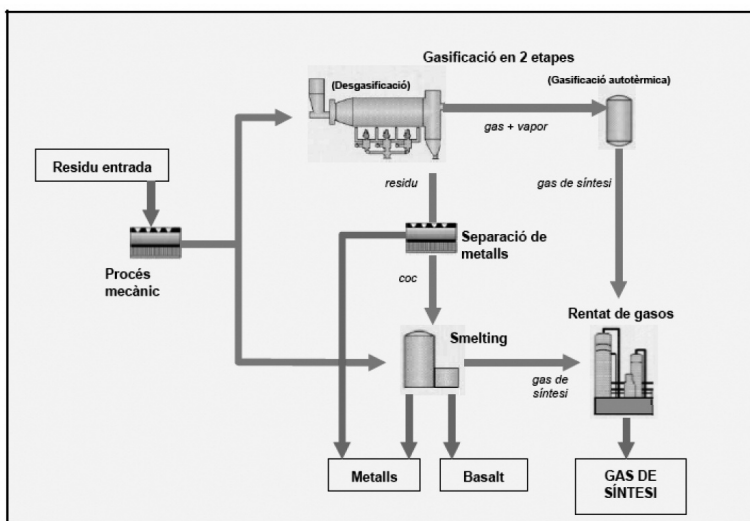


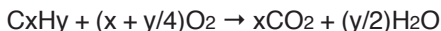
Figura 1. Esquema del procés

c) La reacció de combustió

La combustió és una reacció química en la qual un element combustible es combina amb un altre oxidant (generalment oxigen en forma de O_2 gasós), desprenent calor i produint un òxid. Els tipus més freqüents de combustibles són els materials orgànics que contenen carboni i hidrogen. El producte d'aquestes reaccions pot incloure monòxid de carboni (CO), diòxid de carboni (CO_2), aigua (H_2O) i cendra.

Equació química

Normalment, l'equació química de la combustió d'un hidrocarbur amb oxigen és així:



d) Conreus energètics

S'han denominat conreus energètics el conreu d'aquelles espècies vegetals que tenen un valor com a combustible. Aquesta possibilitat d'utilització energètica bio-combustible a partir de la biomassa vegetal es coneix com a *agroenergètica*. A continuació mostrem un estudi en el qual es mostra la quantitat de conreu necessari per tal de donar compliment al Pla d'energies renovables a Catalunya.

En el cas de la producció d'OVP o biodièsel, els cultius analitzats són el gira-sol, la colza i la soja. En el cas de la producció de bioetanol o ETBE, són el blat, l'ordi i el blat de moro (de secà i de regadiu). A la taula següent es poden veure els resultats de l'estudi.

Objectiu	% Ocupació de Catalunya	% Ocupació terres de cultiu de 2006
100 % consum de gasoil i benzina ⁶ - 5.134,4 ktep	179,6%	709,6 %
18 % del gasoil i 5 % de la benzina ⁷ (PEC) - 764,7ktep	26,9 %	106,2%
10 % del consum (UE) ⁸ - 513,44 ktep	14,9 %	58,7 %
100% consum maquinària agrícola - 384,85 ktep ⁹	16,0 %	63,4 %

Font: Angels Altarriba Ardió. PFC Ciències Ambientals

La següent taula, que prové del mateix treball, és una comparació molt interessant entre conreus energètics i instal·lacions fotovoltaïques. El motiu de la comparació és l'ocupació de sòl rústic/agrícola que ambdues tecnologies porten a terme.

	OVP (Girasol)	BD (Girasol)	BE (ordi)	Fotovoltaica
Tep / ha	0,8	0,8	0,6	52,6
€ / tep	860	924	1.453	1.711

e) Biocombustibles i biocarburants

Es denomina biocombustible tot combustible procedent de la biomassa, entenent per a biomassa els organismes vius produïts en la superfície de la Terra o mitjà aquàtic, o als seus residus metabòlics (p. e. fems)

3. Procés de determinació de la viabilitat de les diferents aplicacions

a) Avaluació de recursos energètics renovables (generalitats)

Estimar els potencials de producció de tots els tipus de biomassa no és tasca fàcil. En aquest sentit, l'Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació, en el seu informe sobre l'avaluació dels recursos forestals mundials, del 2000, va estimar a cada país tant el volum de fusta, així com la biomassa llenyosa sobre la superfície del terra, presents en els boscos per a l'any 2005.

País / Àrea	Superfície terrestre	Población 2004				PIB 2004	
		Total	Densidad	Tasa anual de creciment	Rural	Per cápita	Tasa anual de creciment
		(1000 ha)	(Hab./km ²)	(%)	(% del total)	(US\$)	(%)
Andorra	48	66	141,0				

CLASE DE INFORMACIÓN SOBRE ÁREA DE BOSQUE, EXISTENCIAS EN FORMACIÓN Y BIOMASA

País/área	Datos más recientes sobre área de bosque ^a			Proyección de área de bosque ^c	Serie cronológica de exist. en formación ^b	Estimación de biomasa ^d
	Estudios de campo/mapeo	Tele-detección	Estimación de expertos			
Andorra	1990		2005	SIN	ANC	-

^a Cuando se han recogido datos sobre varios años, se da el año central del período.

^b SIN: las cifras registradas se basan de un momento único; MLT: las cifras registradas se basan en datos de dos o más momentos; EXP: las cifras registradas se basan en estimaciones de expertos.

^c ANC: ningún cambio presumible entre dos o más años de referencia; DEF: estudios separados sobre deforestación o cambios en la superficie forestal se utilizaron para la estimación y el pronóstico; LEM: interpolación o extrapolación lineal; MOD: uso de modelo como método de estimación entre dos o más puntos mediante hipótesis modificadoras de las tendencias lineales (uso de área de plantaciones, zonas de regeneración, matriz de uso de la tierra, o ausencia presumible de cambios, etc.).

^d NAT: factores nacionales desarrollados por investigación; GPG: factores tomados de IPCC (2003); BWN: factores de expansión tomados de FAO (1997); ECE: estimaciones y factores tomados de UNECE & FAO (2000); EXP: estimaciones de expertos.

ÁREA DE LOS BOSQUES Y OTRAS TIERRAS BOSCOSAS, 2005

País/área	Área de tierra				Aguas interiores (1 000 ha)	Área total (1 000 ha)	
	Bosques		Otras tierras boscosas (1 000 ha)	Otras tierras (1 000 ha)			
	1 000 ha	% del área de la tierra		Total			Con cubierta de árboles
Andorra	16	35,6	-	29	-	45	

Normalment cal fer suposicions i usar extrapolacions. L'estimació mundial de la biomassa llenyosa sobre la superfície del terra va ser de 422 bilions de tones. La regió que va mostrar la major quantitat de biomassa va ser Amèrica del Sud, amb un 43 per cent del total mundial o 180 bilions de tones. Brasil sol acumulava el 27 per cent de la biomassa llenyosa mundial sobre la superfície del terra. L'Àfrica va mostrar la segona major quantitat, amb el 17 per cent del total mundial, o 71 bilions de tones.

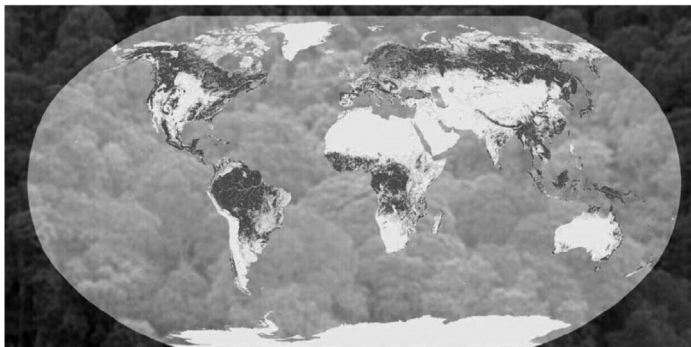


Figura 4 Biomassa llenyosa sobre la superfície del terra per país (tones/ha). [Font: www.fao.org]

També podem emprar sistemes d'informació geogràfica. Mitjançant l'ús d'aquestes eines es preveu la realització de cartografia temàtica que localitzi el potencial de biomassa d'un territori definit.

Així mateix, aquesta metodologia inclou l'ús de la cartografia generada per a, mitjançant l'ús de SIG, optimitzar la gestió i la planificació del subministrament: localitzant la procedència de la biomassa, la seva qualitat, determinació de rutes òptimes i costos de transport i identificant punts intermedis d'emmagatzemament.

D'altra banda, entre les barreres lligades a la producció del recurs, n'hi ha una de comuna: la dificultat d'assegurar un subministrament estable de biomassa en l'aplicació energètica en el temps, ja sigui per la disponibilitat estacional o irregular del recurs (residus agrícoles o forestals), per la dispersió i l'extensió reduïda de les explotacions subministradores (residus agrícoles llenyosos), per l'existència d'un mercat d'usos alternatius, lligats sobretot al sector ramader, o per combinacions d'alguns d'aquests factors, encara que en alguns casos aquest problema és a causa de la disponibilitat limitada del recurs, com és el cas de la biomassa residual industrial. Els cultius energètics quedarien al marge d'aquest problema, però en tenen d'altres, com és la necessitat d'un marc legislatiu i d'ajuts específic. Finalment, encara que en major o menor grau segons el recurs, es necessita la realització de projectes de demostració i la difusió dels resultats.

Existeixen una sèrie de factors que condicionen el consum de biomassa als països europeus i que fan que aquest ús canviï dels uns als altres, tant quantitativament com en l'aprofitament de l'energia final. Aquests factors són:

- Factors geogràfics: incideixen directament sobre les característiques climàtiques del país condicionant, per tant, les necessitats tèrmiques que es poden cobrir amb biomassa.
- Factors energètics: depenent dels preus i característiques del mercat de l'energia, s'ha de decidir si és o no rendible l'aprofitament de la biomassa com a alternativa energètica en les seves diverses aplicacions.
- Disponibilitat del recurs: es refereix a la possibilitat d'accés al recurs i la garantia de la seva existència. Aquests factors són els més importants, ja que incideixen directament tant en el consum energètic de biomassa com en les seves altres possibles aplicacions.

b) Punts crítics per a la implantació

Principis de política energètica

Les fonts d'energia convencionals han estat tradicionalment beneficiades en detriment de les energies renovables, per no haver tingut en compte en el preu de venda de l'energia les inversions en infraestructura ni els costos externs, socials i mediambientals resultants de l'explotació d'aquests recursos. Així, les energies renovables han d'enfrontar-se a una situació de desigualtat en les condicions de competència del mercat energètic.

La internalització dels costos externs de l'energia (proposada al *Llibre verd de les energies renovables* de la UE) apareix com una via per compensar aquesta desigualtat històrica.

Característiques i disponibilitat real de combustible

La biomassa com la majoria dels recursos renovables es caracteritza pel seu elevat grau de dispersió. Aquest factor resulta desfavorable atesa la seva baixa densitat energètica. L'elevat cost d'extracció, la necessitat d'aplicar tractaments previs per millorar el rendiment del transport i facilitar la manipulació i els requisits de les tecnologies de valorització, que sovint exigeix l'assecat, triturat o compactat de la biomassa, fa que el cost del combustible per unitat d'energia pugui arribar a ser massa alt per a la viabilitat del projecte.

És per aquest motiu que qualsevol tipus de valorització energètica de biomassa ha d'assegurar que la localització de la central sigui capaç de rebre la biomassa en el mínim radi possible i que, en general, no superi els 50 km. La densitat energètica i els alts costos d'inversió que presenten actualment les tecnologies de valorització de biomassa necessiten una mida mínima de la central de valorització (en l'àmbit comunitari es recomana un mínim superior de 5 MW elèctrics en centrals de generació d'electricitat) que sovint no permet arribar a la massa crítica de biomassa necessària en l'àrea de recollida que la viabilitat del projecte permet.

El mercat de la biomassa d'origen agrícola és molt estacional i extremament fluctuant. La biomassa acostuma a tenir un canal de valorització tradicional al sector agrícola que se satura en els anys de bona col·lecta. Per aquesta raó el preu de mercat d'aquests productes fluctua segons ha anat l'any de col·lecta i resulta difícil establir qualsevol tipus de previsió a llarg termini.

Tampoc no hi ha seguretat al mercat de la biomassa forestal, que pot veure's afectat per factors imprevisibles com ara el nombre d'hectàrees cremades anualment o el tancament o l'aparició de noves empreses al sector, o noves vies de valorització. No és l'objectiu de les centrals de valorització energètica de biomassa entrar en competència al mercat de la biomassa, ja sigui d'origen forestal, agrícola o industrial.

Per això, és necessari trobar els rebuigs per donar-los una valorització per la via energètica i pactar amb els generadors un contracte de subministrament que permeti fer front a la inversió que suposa una central.

Tan important com assegurar el subministrament del combustible és assegurar el preu per assegurar la viabilitat del projecte. El preu que es pot pagar o s'ha de cobrar varia segons el contingut energètic del combustible així com els tractaments addicionals que s'han d'aplicar (transport, triturat, assecat...). És impossible fixar un preu genèric, ja que depèn del tipus de tecnologia, el tipus de residu, l'ingrés per la venda d'energia, finançament, ajuts...

Per tot això és molt difícil dur a terme cap projecte d'aquestes característiques si no assegura, via contracte a llarg termini (no pas menys de 8 anys) de comú acord

amb els generadors de biomassa i sense enfrontar-se als actors de mercat, el combustible per subministrar la central al preu que fixi la viabilitat del projecte. Així, es pot dir que les condicions necessàries però no suficients per a l'èxit d'una planta de valorització energètica de biomassa són les següents:

1. Quant a la viabilitat econòmica

- Assegurar el subministrament de la central en les condicions que la viabilitat del projecte determini mitjançant un contracte a llarg termini que minimitzi el risc que comporta la inversió en la planta.
- És necessari minimitzar els costos de transport, tractament/extracció de la biomassa i estructurar una logística de recollida i emmagatzematge que s'adeqüi al funcionament de la central i l'estacionalitat del combustible.
- S'ha d'arribar a l'equilibri entre la minimització de la inversió i la tecnologia de tractament al combustible disponible per poder optimitzar l'escala de la planta i minimitzar el risc tecnològic.
- És imprescindible assegurar els ingressos de la central mitjançant un contracte de venda d'energia (elèctrica i tèrmica) produïda a la central. Maximitzar les hores de funcionament de la planta així com la tarifa elèctrica aplicable o la demanda d'energia tèrmica per maximitzar els ingressos minimitzant els costos.

2. Quant al suport del projecte

- S'ha de comptar amb els responsables dels organismes locals per al subministrament de biomassa. El paper d'aquests organismes locals per afavorir la confiança i el diàleg amb els sectors que proporcionin la biomassa, la seva competència a escala comarcal i/o municipal i el seu coneixement de les particularitats de la zona són molt importants.
- Mai una planta no s'ha d'enfrontar a cap sector del mercat que pugui ser competidor en ús de la biomassa, sinó que ha de ser un activador del mercat de la biomassa que consumeixi aquells productes que no tenen cap via de valorització.
- És necessària una transparència total en el desenvolupament del projecte, per evitar que la informació arribi als actors implicats per vies diferents dels promotors del projecte i evitar distorsions de la realitat.
- La complexitat d'aquests projectes és en part deguda al gran nombre d'organismes implicats: departaments d'energia, d'agricultura, de medi ambient, treball..., i la dispersió de les competències. La coordinació d'aquests organismes, la implicació i el suport són fonamentals.

4. Possibles aplicacions al Principat. El Pla de l'energia d'Andorra

- a) El Pla estratègic de l'energia d'Andorra i la biomassa forestal.

4.9.1.2. OBJECTIUS

- Aprofitar tèrmicament aquest recurs amb modernes calderes de baixes emissions.
- Potenciar les tasques de conservació i gestió dels boscos, reduint, alhora, la seva càrrega de foc.
- Sensibilitzar la ciutadania en la utilització de llenya com a generador de calor, en calderes automàtiques de biomassa d'alt rendiment, que permeten un ús eficient d'aquesta energia renovable, defugint les calderes i estufes tradicionals pels seus elevats nivells d'emissions contaminants.
- Produir energia elèctrica a partir de la combustió de biomassa forestal.

4.9.1.3. ACTUACIONS A CURT TERMINI

- Quantificar el potencial energètic en biomassa forestal dels diferents comuns i analitzar la gestió actual.
 - Estudiar la viabilitat:
 - De produir energia elèctrica mitjançant la combustió de biomassa forestal en un centre de tractament de biomassa, i si s'escau iniciar la producció.
-

4.9.1.4. ACTUACIONS A MITJÀ/LLARG TERMINI

- Instal·lar calderes de biomassa forestal col·lectives en edificis d'habitatges i en centrals que alimentin xarxes de calefacció urbana (*district heating*).
- Utilitzar calderes de gasificació de biomassa forestal sense condicionar (troncs).

4.9.1.5. DIRECTRIUS DE DESENVOLUPAMENT DE LES ACTUACIONS

- Quantificar, mitjançant un treball de camp, el potencial energètic de la biomassa forestal disponible per ser utilitzada.
- Fer un estudi sobre la viabilitat de la utilització de la biomassa forestal en calderes de biomassa de baixes emissions i en centres de tractament de residus. Aquest estudi ha d'incloure els costos d'extracció, el benefici forestal, el tractament, el condicionament, el transport, l'estoc i els beneficis propis de la combustió.
- Fer estudis sobre la viabilitat de la utilització de la biomassa forestal en edificis públics, com a combustible, per a la calefacció, l'aigua calenta sanitària i l'escalfament de piscines.

4.9.1.6. ANÀLISI DE L'ENTORN

Punts forts / oportunitats

- Possible potencial energètic de la biomassa forestal disponible al país, que contribuiria a reduir les importacions d'energia.
- Revalorització de la indústria forestal.
- Millora de la gestió dels boscos i reducció de la càrrega de foc.
- Augment de la sensibilitat ambiental de l'usuari final.

• Creació de llocs de treball qualificats:

- Creant un nou mercat d'empreses de serveis energètics.
- Desenvolupant un sector d'instal·ladors especialitzats en calderes de biomassa.

Punts febles / amenaces

- Dificultat d'extracció de la fusta del bosc.
 - Actualment no existeix cap indústria de transformació de biomassa forestal.
 - Necessitat de crear un nou cicle de producció i consum.
 - Baixa productivitat forestal al país.
-

b) Possibles aplicacions al Principat

Un cop examinat el Pla de l'energia, aquest ens porta cap a l'aprofitament de la biomassa residual forestal i a la creació de conreus energètics. El primer dels casos, com veurem a continuació, és el que entenem més viable. És el de més rendiment energètic, el que pot generar un nombre més elevat de llocs de feina i un més gran benefici ambiental, en comportar implícitament la neteja i *conreu* dels nostres boscos. En el cas dels cultius energètics, s'han d'enfocar cap a la complementació de digestors anaeròbics, o de la biomassa forestal en la seva combustió o gasificació. La producció de biocombustibles per a locomoció necessita de quantitats de matèria primera massa importants, i difícilment les terres de conreu del Principat seran suficients.

Digestió anaeròbia

Indicada si es disposa de purins com a base. Els residus sòlids de qualsevol de les depuradores donarien el complement energètic ideal per a la cogeneració (elèctrica i tèrmica) en qualsevol de les instal·lacions. La tecnologia actualment està madura i a preus que donen viabilitat a les instal·lacions. Cal, però, com hem indicat, disposar d'una certa concentració de boví (a partir de 200 caps, molt viable amb

600 caps) o porcí. Actualment al Principat no es disposa d'aquesta mena d'explo-tacions. El residu que s'obté després del procés de digestió és un adob força con-centrat, lliure d'olors. En cas de disposar de purí suficient, complementat amb llots de depuradora o vegetals procedents de cultius energètics, fóra una molt bona op-ció per ser explotada per un o diversos ramaders, que obtindrien un bon comple-ment econòmic a les seves explotacions, venent calor i electricitat, i obtenint un adob de primera qualitat.

Gasificació i piròlisi

Indicada en cogeneracions a partir de 100kWe, és des del punt de vista teòric el millor sistema (més rendiment) per tal d'obtenir electricitat a partir de biomassa, especialment biomassa de difícil tractament (es podria plantejar amb el residu de la planta del tabac). El rendiment elèctric pot ser proper al 25%. En poder treballar amb tant baixes potències permet la localització de les instal·lacions i la generació distribuïda, amb la minimització del transport, a més de donar accés a la produc-ció d'energia a més promotors, en obtenir també aigua calenta per a calefacció, amb la qual es pot alimentar petits *district heatings*. Tot això en el pla teòric. A la pràctica, la tecnologia no és prou madura i els costos econòmics la fan actualment inviable. És, però, el sistema ideal per a la producció d'electricitat amb biomassa al Principat, atesa la seva petita escala.

La reacció de combustió

Aquest és el sistema d'aprofitament de la biomassa forestal més directe i de més aplicació al Principat. Tal com indica el Pla de l'energia, un dels primers objectius és la utilització de modernes calderes de biomassa en edificis públics.

La primera experiència d'aquest tipus és ja una realitat a les escoles d'Encamp. El gran avantatge actualment d'aquesta tecnologia és substituir únicament els siste-mes de producció tèrmica (calderes) per tal que puguin funcionar amb biomassa d'origen forestal, sense que no es necessiti cap modificació en la instal·lació inter-ior de l'usuari.

Perquè aquests canvis tinguin viabilitat econòmica, i per tal de maximitzar el ren-diment energètic del procés, cal dur a terme aquesta substitució en instal·lacions amb nivells de consum molt elevats, com ara centres esportius, piscines climatit-zades, hotels, centres educatius, etc... En aquest tipus d'instal·lacions, atesa la potència de les calderes per emprar, podem treballar directament amb estella com a combustible, la qual només ha estat triturada fins a la mida indicada per a cada tipus de caldera i assecada de manera natural. El fet que el combustible no hagi estat tractat, o bé que hagi estat tractat mínimament, afavoreix la reducció del cost econòmic de preparació i la pèrdua d'energia en el procés de transformació.

En general són les mateixes administracions propietàries dels boscos les que també disposen d'instal·lacions amb grans consums de gasoil. Si tenim en compte

la inversió anual de les diferents administracions comunals en el manteniment dels seus boscos, veurem que també des del punt de vista econòmic la creació d'una infraestructura destinada a l'adequació de la biomassa forestal (estella) per a usos energètics en calderes de biomassa, acompanyada d'una infraestructura de distribució, és i ha de ser totalment viable. Aquest procés a més comportarà la creació de llocs de feina localitzats.

El fet d'adequar les instal·lacions existents per tal que puguin consumir estella com a combustible en substitució de gas o gasoil comportarà la creació de llocs de feina localitzats.

El finançament de tots aquests llocs de feina vindrà directament del fet de no exportar divises en concepte de gasoil o gas.

En els casos en què hem pogut realitzar un estudi de viabilitat, com ha estat en una escola pública de nova creació (Encamp) o en dos centres esportius (Serradells i Pas de la Casa), o bé en un *district heating* al poble de Canillo, els resultats han estat molt bons, amb amortitzacions de la inversió mai no superiors a nou anys. (Estem parlant d'inversions de fins a 1,5 M€). Les necessitats de biomassa entenem que són assumibles, atès que parlem de 80 tones en la més petita, i d'1.125 tones d'estella en el cas amb més consum.

Si tenim en compte que:

- El rendiment energètic d'aquest tipus d'instal·lacions és superior al 80%.
- Que el titular sigui l'administració beneficia tots els administrats per igual.
- Que el país pot autoabastir-se (cal saber fins a quin extrem).
- Que comarques de Catalunya, veïnes al Principat, disposen de la biomassa, però no de la possibilitat de consumir-ne.
- Que la tecnologia de gasificació actualment no és viable econòmicament.

Entenem que aquest sistema d'aprofitament de la biomassa d'origen forestal és en l'actualitat el més adient.

En referència a la producció d'electricitat i calor, un parell d'apunts:

- La tecnologia actual ens porta a la cogeneració pel cicle de Rankine. Des del punt de vista de viabilitat, aquest tipus de plantes s'han de dimensionar per sobre dels 4 MW, la qual cosa vol dir instal·lar calderes de més de 22 MW de potència nominal, amb un consum anual aproximat (per a 7.800 hores) de 47.500 tones de biomassa forestal aproximadament, amb tendència a les 50.000 tones si la humitat de la mateixa és superior al 30%). Cal a més dissipar tota la calor produïda a uns 70°C (uns 114.600 MWh cada any, també a l'estiu).
- Un cop la tecnologia de la gasificació sigui econòmicament viable es podrà estudiar la instal·lació de petites plantes distribuïdes pel Principat, les quals podran dissipar la calor i aportar energia a xarxes de *district heating*, per exemple, amb la qual cosa es pot alimentar tant edificis públics com privats i solucionar les necessitats energètiques tant de calefacció com d'ACS, i tot això de manera molt senzilla, només connectant aquesta nova xarxa a la sala de calderes de cada edifici.

Conreus energètics

Aquest és el segon punt de biomassa en què es fixa el Pla de l'energia. Com hem comentat anteriorment requereix d'estudis i assajos que poden endarrerir qualsevol decisió durant anys. Un cop determinada l'espècie que millor s'adapta al país, i en funció de les seves característiques (oleaginoses, lignocel·lulòsiques, alcohòliques) i de la quantitat de producció anual, de la seva estacionalitat, el cost econòmic de producció, etc., caldrà veure quin ha de ser el seu destí energètic (biocarburant, gasificació, co-combustió, etc.).

Aquest tipus de conreus poden significar un bon futur per a la pagesia, una bona sortida econòmica, però cal ser curosos i evitar entrar en competència amb altres usos, com pot ser la producció d'aliments.

Només com a exemple, i per justificar el fet dels assajos, cal indicar que la palma té al Brasil un rendiment energètic (COP) del 5 (per cada kWh invertit en la seva producció, n'obtenim 5), mentre que a Espanya aquesta mateixa planta té un COP negatiu.

5. Valoració general dels aspectes ambientals

Els avantatges ambientals d'utilitzar la biomassa com a font d'energia són els següents:

- Es considera que tot el CO₂ emès en la utilització de la biomassa hauria estat fixat prèviament per la matèria vegetal que l'hauria generat, per això es considera que no contribueix a l'augment del CO₂ a l'atmosfera i, per tant, no és responsable de l'augment de l'efecte hivernacle. Això es coneix com a balanç neutre de CO₂. La diferència amb els combustibles fòssils és que aquests alliberen el C a l'atmosfera que ha estat apartat durant segles del cicle natural, sense oferir mecanisme de reabsorció.

- La biomassa té contingut en sofre (S) pràcticament nul, generalment inferior al 0,1%; per aquest motiu les emissions de SO_x i SO₂, responsables de la pluja àcida, són mínimes.

- La utilització de la tecnologia de digestió anaeròbia per tractar la biomassa residual humida a més d'anul·lar la seva càrrega contaminant redueix fonts d'olors i elimina pràcticament els microorganismes patògens. Els llots resultants del procés de digestió anaeròbia poden ser utilitzats com a adob en l'agricultura.

- La combustió de biomassa comporta la generació de cendres i emissió de gasos de combustió. Les cendres resultants de la combustió conserven els minerals continguts inicialment en la biomassa, per això poden ser aplicades al terra com a fertilitzant i tancar el cercle iniciat en l'absorció de minerals en el creixement de la planta. Malgrat això, s'ha de tenir en compte que l'aplicació al terra està restringida a la biomassa que inicialment no conté productes contaminants; de cap manera no són aplicables els residus que tinguin una composició inicial que no hagi estat comprovada prèviament.

- L'impacte que les primeres fases del cicle energètic produeix sobre el terra és mínim sempre que l'aprofitament sigui sostenible (mitjançant cultius energètics, o tractaments de millora i creixement de la biomassa natural) o es basa en el consum d'excedents agrícoles o biomassa resultant d'altres processos. D'altra banda, l'aparició de productes contaminants (dioxines, hidrocarburs aromàtics, clorurs i CO) en els gasos d'escapament depèn molt que el procés de combustió s'hagi completat correctament. En aquest sentit, és necessari assegurar que la tecnologia de combustió utilitzada és capaç de controlar i limitar la producció d'aquests contaminants.

Els problemes que poden estar associats a l'ús de la biomassa com a font d'energia són:

- Els rendiments de les calderes de biomassa poden ser inferiors als que utilitzin un combustible fòssil, líquid o gasós.

- La biomassa pot tenir menys densitat energètica, és a dir, per aconseguir la mateixa quantitat d'energia és necessari utilitzar més quantitat de recursos. Això fa que els sistemes d'emmagatzematge siguin més grans.

- Els sistemes d'alimentació de combustibles i eliminació de cendres són més complexos i necessiten uns costos operacionals i de manteniment més grans. Malgrat això, cada dia apareixen més sistemes automàtics que minimitzen aquest inconvenient.

- Els canals de distribució de biomassa no estan tan desenvolupats com els dels combustibles fòssils.

- Molts tipus de biomassa tenen elevats continguts d'humitat, cosa que fa que en determinades aplicacions pugui ser necessari un assecatge previ.

6. Conclusions

Atesa la importància del sector de l'energia, i la gran despesa econòmica que per a les diferents administracions del país suposa la producció de calor tant per a calefacció com per a aigua calenta sanitària, despesa econòmica que a més suposa una important sortida de recursos econòmics del país; atès que són les administracions comunals les principals propietàries dels boscos del país i que anualment fan o haurien de fer importants inversions en manteniment; atès que l'aprofitament dels residus del bosc amb fins energètics pot generar llocs de feina totalment transversals (picadors, transportistes, enginyers, instal·ladors...); atès que produir localment combustible assegura proveïment (independència energètica); i que es disposa d'instal·lacions de gran consum propietat de les diferents administracions, cal que siguin les administracions les que facin un pas endavant, el primer pas, cadascuna des de la seva competència per tal d'impulsar un pla per a la valorització energètica de la biomassa residual forestal del nostre país que ajudi a generar les infraestructures i dinàmiques necessàries perquè en un futur immediat es permeti que també el sector privat es pugui anar afegint al mercat que es crearà. Conèixer

els recursos nacionals, i també els de les comarques veïnes, és imprescindible per tal de fer sostenible tot el *sector* i el seu projecte, i no oblidar quines són les finalitats i els topalls en l'exploració de la massa forestal del país.

7. Recursos bibliogràfics emprats

Ortega Rodríguez *Energías Renovables*. Ed Paraninfo, 1999.

IDAE *Energía de la biomassa*, 1996.

Jarabe Friedrich, Francisco *La energía de la biomassa*. Ed SAPT. Publicaciones Técnicas, SL. 1999.

Energía. Ingeniería energética y medioambiental. Manual práctico de la Energía de la Biomassa. Núm. 161, 2001.

Sebastián Nogués, Fernando *Ciclo energías renovables. Jornadas de biomassa*. Fundación CIRCE, 2002.

Cánovas, Raquel "Aprofitament energètic de residus orgànics". *3r Curs d'Enginyeria ambiental*. Universitat de Lleida, 1997.

Best practice projects yearbook. 1997 – 2000. European Comission.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2002. "Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2000 -Informe Principal"

Informe sobre el Desarrollo Humano 2007-2008, publicat por PNUD.

Informe planeta vivo 2008, edició en espanyol coordinada por WWF Colòmbia.

Àmbit Rural. *Avaluació de la potencialitat de nous cultius energètics a Catalunya. Informe encarregat per l'ICAEN*, 2007.

APPA. *Biocarburantes y desarrollo sostenible. Mitos y realidades*. APPA Sept 2007.

JARC. *Informe tècnic. Conreus energètics a les comarques de Lleida* (2007)

Pàgines web

- Asociación de Productores de Energías Renovables www.appa.es
- Institut Català d'Energia www.icaen.net
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía www.idae.es
- Institut d'Estadística català (Idescat) www.idescat.net

Jordi Brescó i Ruiz

*Enginyer tècnic industrial,
director tècnic d'Ateci*