

Biomassa forestal: Propietats, mesures i factors de conversió

Objectiu: aportar coneixements generals a propietaris forestals i estudiants per millorar la utilització de biomassa en la producció



ÍNDEX

1	Introducció	2
2	Propietats i mesures (2)	2
3	Diferents tipus de biocombustibles forestals (8) (9) (4) (10) ...	9
3.1	Llenya (Firewood, wood logs)	10
3.2	Astella forestal	11
3.3	Pélets	13
3.4	Briquetes	14
4	Factors de conversió	16
5	Conclusió	17



1 Introducció

Són propietats dels biocombustibles forestals les dimensions o granulometria, la composició química, la humitat, les cendres, la densitat, els additius, el poder calorífic, la durabilitat mecànica, la quantitat de fins, la matèria volàtil, etc (1). A més, es també es pot especificar l'origen i la font del biocombustible. A continuació, es descriuen les propietats més comunes.

2 Propietats i mesures (2)

Les unitats habituals en l'àmbit forestal i en la indústria de la fusta per quantificar els lots són el metre cúbic sòlid per a la fusta en rotllo i l'equip de música per a la fusta apilada de fins a 2 m de llarg. El metre cúbic aparent s'empra per trossos de fusta petits i solts, a dojo (p.ex. per estelles de fusta).



Foto 1: Esteri de fusta

Metre cúbic sòlid (m³ o mc): metre cúbic de fusta massissa (fusta en rotllo) sense espais buits.

Esteri (str), volum aparent: Volum d'un metre cúbic fusta trossejada apilades incloent els espais buits.

Metre cúbic aparent (MAP), volum aparent: Volum de fusta fragmentada a granel (estelles, serradures, retalls, etc.) que té un total d'un metre cúbic incloent espais buits.

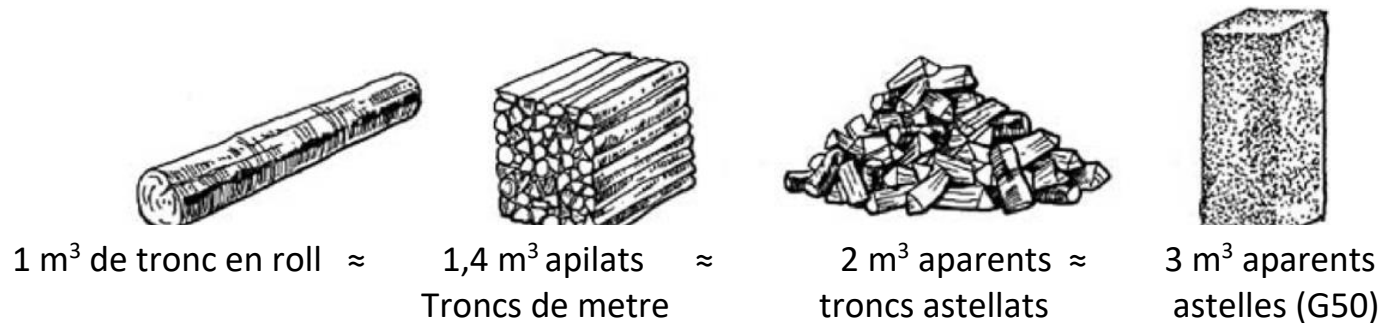


Figura 1: Equivalència entre 1 metre cúbic de fusta massissa, llenyes i astella (3)

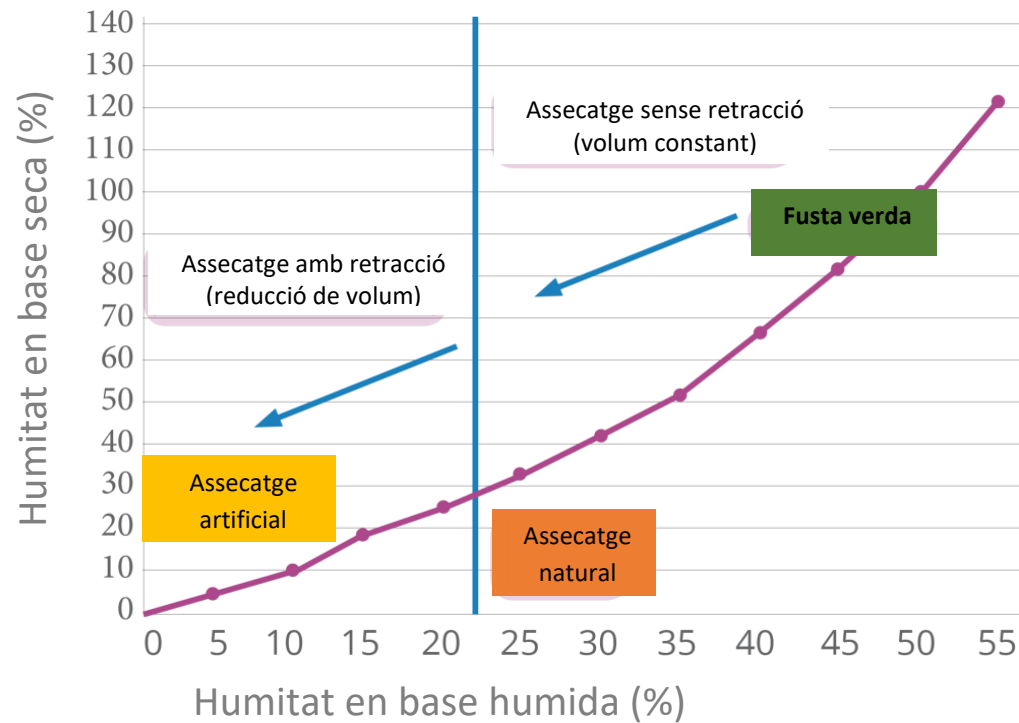
Humitat: En relació al seu ús energètic, no tota la fusta té el mateix rendiment energètic. El factor més decisiu és la humitat (contingut d'aigua), seguit de la mesura de la fusta i el tipus:

Humitat en base humida (M o Hbh,%): ràtio entre quantitat d'aigua i matèria total. Constitueix el% d'humitat de la fusta i és la unitat emprada en l'àmbit de la bioenergia. La fusta acabada de tallar té humitats properes al 50%, mentre que assecada a l'aire lliure redueix fins al 20-25% la humitat:

- $M \text{ o } Hbh (\%) = \text{Pes aigua} * 100 / \text{pes de fusta humida}$

L'estàndard ISO 17.225-1 (1) difereix classes d'humitat (% quan es rep el material) en intervals de 5% des <10% a> 55%.

Humitat en base seca (O o Hbs,%): ràtio entre la quantitat d'aigua i matèria seca. Unitat emprada en l'àmbit forestal. La fusta acabada de tallar té Hbs properes al 100%, mentre que assecada a l'aire lliure es redueix al 25-30%:
 - O o Hbs (%) = Pes aigua * 100 / pes de fusta seca



Correspondència entre humitat en base humida i humitat en base seca. Font: Bois Energie 66 en (4)

En general es recomana una humitat màxima de 20-30% Hbh per optimitzar el procés energètic. Si no, es perd calor, les temperatures baixen, incrementant així la formació de fums, més emissions i potencials danys a la xemeneia.

Tona anhidra (t_0 , atro t): Massa de fusta completament seca. És la unitat de mesura de massa teòrica calculada amb una humitat del 0%.

Tona de fusta humida (t_x): Massa de fusta amb cert percentatge $x\%$ d'humitat en base humida (M o Hbh).

Densitat: Relaciona el pes del biocombustible amb el volum ocupat en m^3 sòlid, estèreo o MAP.

Densitat energètica (MJ / m^3 o kWh / m^3 solt): La densitat energètica reflecteix el poder calorífic per volum. D'aquesta manera es permet calcular sobre fases del biocombustible com el transport o l'emmagatzematge.

Forma comercialitzada: La mida i la forma influeixen tant en la manipulació del combustible com en la seva combustió. Per això es presenten més de 20 formes de comercialització en el mercat (1), tot i que no hi ha relació exhaustiva. Per exemple són formes comercialitzades les estelles, el combustible triturat, la llenya, les briquetes, serradures, encenalls, les bales o bales, els pèl·lets, o l'arbre.

Origen i font (1): Defineix d'on procedeix la biomassa en base a una classificació jeràrquica que inclou biomassa llenyosa, herbàcia, de fruits, aquàtica i conjunts i mescles. Hi ha fins a 4 nivells d'especificació de l'origen i la font de la biomassa. Per exemple: 1. Biomassa llenyosa; 1.1 Biomassa llenyosa procedent de la muntanya, plantació i una altra fusta verge; 1.1.3 Tronc; 1.1.3.2 Coníferes amb escorça.

Poder calorífic: Quantitat de calor útil alliberat en la combustió completa d'una quantitat específica de biocombustible. El contingut d'humitat per tant varia el poder calorífic.

Poder calorífic brut o superior (PCS, MJ / kg o kWh / kg): Quantitat total de calor despresada en la combustió completa d'una unitat de massa de combustible sense comptar la part corresponent a la calor latent del vapor d'aigua generat en la combustió, ja que no es produeix canvi de fase, i s'expulsa com a vapor. És la calor produïda en la reacció de combustió.

Poder calorífic net o inferior (PCI o Q, MJ / kg o kWh / kg): Quantitat total de calor despresada en la combustió completa de combustible quan el vapor d'aigua originat en la combustió està condensat i, té en compte la calor despresada en aquest canvi de fase. És la calor aprofitable de la combustió. Per tant, és la mesura més emprada en la pràctica.

Taula 1: Poder calorífic de la fusta en funció del seu contingut d'aigua (2)

Estat de la fusta	Humitat base humida (H_{bh})	Poder calorífic inferior (PCI)
Verda (acabada de tallar)	50-60%	2,0 kWh/kg
Passat un estiu	25-35%	3,4 kWh/kg
Passats diversos anys	15-25%	4,0 kWh/kg

Com més seca estigui la fusta, més gran és el poder calorífic i per tant el rendiment energètic. La biomassa emmagatzemada seca arriba a tenir el doble de PCI que la fusta acabada de tallar (Taula 1).

- Totes les espècies forestals tenen un PCI similar per kg de fusta. Quan es calcula el PCI per volum sí que és important el tipus de fusta.

- 2,5 kg de fusta assecada a l'aire lliure equivalen aproximadament a 1 l de gasoil.

Granulometria (distribució de la mida de partícula) i dimensions (1) (5) (6) (7): La granulometria s'aplica per l'estella i indica la mesura dels fragments que constitueixen el combustible. Condiciona la densitat aparent, així com el comportament del material durant el transport, emmagatzematge, subministrament i combustió. Les partícules més grans poden ocasionar embussos el sistema d'alimentació d'instal·lacions petites. Així mateix, per a una òptima combustió cal una determinada grandària de partícula: massa petita pot ocasionar un comportament explosiu; massa gran pot ocasionar una combustió incompleta.

Els estàndards ISO estableixen diferents classes de granulometria (P16-P300) segons la distribució de mesures del biocombustible. S'avalua la mesura de la fracció principal (> 60%), la longitud màxima, l'àrea transversal de la fracció més gruixuda, i la fracció fina. Interessa minimitzar la quantitat d'elements grossos per evitar embussos i facilitar la gestió del material. La presència de fins també s'ha de reduir en la mesura possible per evitar l'obstrucció dels sistemes d'alimentació. La nomenclatura correspon de la inicial P (Particle size) més el diàmetre màxim de la fracció principal (pàg. Ex. 16, 31 o 45 mm correspondrien a P16, P31 o P45).

Per als altres biocombustibles s'especifiquen les dimensions.



Foto 2: Prova de granulometria d'estella amb diferents mida de sedassos

Composició (% en matèria seca): La composició química del biocombustible (C, H, N, S, Cl, etc.) està condicionada per la matèria prima de fabricació: fusta, fulles, escorça, etc. Aquesta composició condiciona la combustió, així com els efectes que pugui tenir aquesta: Major o menor poder calorífic; possibles emissions d'òxids de nitrogen; corrosions i cendres; emissions o cendres contaminants, etc.

Cendres (% en matèria seca): La rellevància del contingut en cendres radica que -com subproducte de la combustió que acaba dipositat o en suspensió- han de ser convenientment retirades i gestionades. En funció de la normativa local han de ser disposades com residus o emprar-se com matèria primera per a altres productes. A més, la composició química d'aquestes pot contribuir al deteriorament i corrosió de les instal·lacions de combustió. Per tant, el contingut en cendres té conseqüències econòmiques.

La generació de cendres depèn del material emprat, incrementant-se amb la presència de fulles i escorça. La contaminació de la biomassa amb terra i pedres també genera més productes de residu de la combustió i per això la combustió de fusta de ceps i arrels genera més cendres. Aquests inconvenients justifiquen un esforç per evitar la contaminació del material durant l'aprofitament, d'una banda deixant que perdi les fulles in situ, i d'altra evitant l'arrossegament.



Foto 3: Cremador amb escòria i pedres Foto 4: Cremador d'astella lliure d'impropis. I. López

La quantitat de cendres que genera la combustió d'estella d'arbres sencers és d'aproximadament 1%, uns 4-6 kg per m³ de combustible sòlid. La fusta neta genera cendres per sota de l'1%, mentre que l'escorça pot arribar al 2-3%, i les acícules i fulles fins al 6-8%.

Algunes centrals d'aprofitament energètic retornen al bosc les cendres generades per compensar l'extracció prèvia de nutrients, sobretot on es realitza un aprofitament intensiu de la massa forestal.

3 Diferents tipus de biocombustibles forestals (8) (9) (4) (10)

La biomassa forestal pot emprar-se com a font d'energia en diverses formes comercialitzades (1) a partir de les quals obtenir electricitat o calor. En la present fitxa es tracten els quatre formats principals: Llenyes (Firewood and log wood), estelles, pèl·lets i briquetes.

3.1 Llenya (*Firewood, wood logs*)

Les llenyes constitueixen el biocombustible forestal menys elaborat i d'ús més tradicional, amb un mercat ja establert. S'obté de qualsevol espècie llenyosa, encara que les més apreciades són l'alzina, els roures i el faig. El seu format són troncs trossets i esberlats per obtenir falques de fusta de la mateixa longitud, pel que la seva forma és cilíndrica o cònica, molt heterogènia pel que fa a mesures. S'empra com a combustible en estufes, xemeneies, forns i sistemes de calefacció central.

Característiques de les llenyes

- Mesures: Troncs o falques o tascons de longitud variable, generalment entre 20 i 100 cm de llarg.
- Humitat: La llenya acabada de tallar aconsegueix valors de 40% - 50% Hbh (alzines-pins). Passada una temporada a l'aire lliure, la humitat es redueix fins al 20% Hbh aprox. Per cremar, idòniament ha de ser inferior al 15% Hbh. La llenya amb elevat contingut en humitat alenteix i dificulta la combustió, produeix condensació i quitrà en els conductes de fums, i redueix el seu poder calorífic.
- Densitat aparent: 400-500 kg / estèreo.
- PCI: Al voltant de 3.900 kWh / t
- Cendres: Aprox 1,2% del pes sec total.


 *Les calderes de llenya actualment ja són molt eficients, però amb poques excepcions requereixen alimentació manual una o dues vegades al dia.*



Foto 5 i 6: Llenya trossejada, astellada i amuntegada. AFIB-CTFC.

3.2 Astella forestal

La estella forestal està constituïda per fragments de fusta de petita dimensió obtinguts per tall mecànic, obtenint trossos petits de forma subrectangular de mesures variables. Aquest estellat permet homogeneïtzar les seves propietats en certa mesura (mida, humitat) i automatitzar la seva alimentació en instal·lacions de calefacció o generació d'electricitat. Pot ser d'origen forestal o bé industrial. L'estella de gestió forestal sostenible (estella forestal) s'obté de la retirada de bosc de fusta de baixa qualitat o restes d'aprofitaments. Aquesta extracció permet amortitzar treballs de millora forestal o de prevenció d'incendis. En canvi, l'estella industrial és aquella que prové de subproductes de la indústria de la fusta.

El preu de l'estella forestal és inferior al del pèl·let a causa del menor procés d'elaboració necessari. Així mateix, l'ús de l'estella potencia la gestió forestal, ja que permet valorar la fusta que actualment té poc o cap mercat. No obstant això, es tracta d'un material més heterogeni que els pèl·lets quant a humitat, densitat i granulometria, fent la seva manipulació i transport menys simple, i requerint espais d'emmagatzematge grans. Per això són necessaris controls de qualitat sobretot en instal·lacions domèstiques i es recomana un transport no superior a 50 km.

D'altra banda, convé diferenciar entre estella i fusta triturada. Mentre que l'estella té una forma definida pel tall mecànic d'una eina esmolada (fulles), el triturat és fusta desintegrada produïda per cop amb eines romes com martells, cadenes o rodets. El triturat de fusta sol emprar en la indústria de pasta, paper i cartró..



Foto 7: Astella forestal. I. López.

Característiques de l'estella forestal

- Mesures: Forma subrectangular, el 0,5 - 5 cm de costat (<10 cm), gruix menor (~ 0,5- 1 cm).
- Humitat: Variable entre 20% i 40% Hbh. L'ideal és una humitat homogènia del 30% Hbh.
- Densitat aparent: 280 kg / MAP (conífera G30). Variable segons granulometria i humitat (> 200 kg / MAP).
- PCI: Típicament 3.500 kWh / T30. (1.123 kWh / m3, 3011,5 kcal / kg)
- Cendres: <3% pes sec. Si no conté escorça, fulles ni branquillons arriba <1%.

3.3 Pélets

Biocombustible densificat fabricat amb partícules de fusta mòltes, sotmeses a un procés d'assecatge forçat i posterior extrusió. El producte és un granulat cilíndric de fusta compacte i amb un gran poder calorífic (alta densitat energètica) gràcies a l'absència d'humitat.

Els avantatges de la compactació del biocombustible parteixen del fet que s'homogeneïtza humitat, densitat i granulometria, facilitant la seva manipulació, disminuint costos de transport i augmentant la seva densitat energètica per unitat de volum. Això significa alhora menor espai requerit per a emmagatzematge. El menor contingut en cendres respecte les estelles i la llenya simplifica les tasques d'operació i manteniment de les instal·lacions de calefacció. Finalment, es comercialitza internacionalment seguint estàndards ISO.

Per contra, el major processat encareix el producte en relació a altres biomasses. A més, no millora directament la gestió forestal sostenible, ja que s'empren generalment subproductes d'indústria.

Per a la fabricació dels pèl·lets es requereix una matèria primera molt seca (<12% H₂O) i absència d'impureses. La presència d'impureses (sorra, àrids, etc.) redueix el poder calorífic i pot espatllar la matriu de fabricació del granulat.



Foto 8: Pèl·lets de fusta. AFIB-CTFC

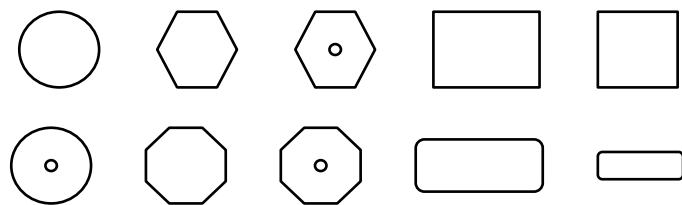
Per tot això la fabricació de pèl·lets es fa generalment amb subproductes industrials del serrat de la fusta (costaners, trossos, serradures, encenalls) convenientment polvoritzats i assecats fins al 8-10% Hbh. És a dir, que no sol emprar biomassa forestal procedent directament de l'aprofitament forestal. Per això no es tindrà en compte aquests productes a l'hora de descriure el procés de producció i subministrament.

Característiques dels pèl·lets

- o Mesures: cilindres de longitud variable:
- o Diàmetre (D): 4-10 mm (<30 mm)
- o Longitud variable 10 -70 mm (<5xD)
- o Humitat: en general <10% Hbh (<15% Hbh)
- o Densitat aparent: 650 kg / MAP
- o PCI:> 5 kWh / kg (> 3.055 kWh / m³; > 4.321 kcal / kg)
- o Cendres: <3% pes

3.4 Briquetes

Biocombustible sòlid de forma cilíndrica o cúbica segons el procés de fabricació, amb diàmetre de ≥ 25 mm, produït per compressió en premsa pistó de biomassa llenyosa polvoritzada o trossejada. La matèria primera principal solen ser estelles, serradures o encenalls, però sovint també s'empra fusta reciclada, closca d'arròs, canya de sucre, paper, etc. La briqueta més habitual és d'estelles compactades sense aglomerant, ja que la mateixa lignina amb un contingut adequat d'humitat, funciona com a aglutinant natural.



Existeixen en el mercat calderes automàtiques per briquetes, encara que el seu ús no està estès. Són aptes per a estufes i calderes de llenya, encara que llavors l'alimentació ha de fer-se de forma manual. A més, solen usar-se en llars de segones residències, sent el seu ús similar al de les llenyes.

Figura 2: Seccions de briqueta existents en el mercat

Els avantatges de les briquetes són el seu elevat poder calorífic, homogeneïtat i constància en humitat, densitat i granulometria, que faciliten la seva manipulació i transport respecte a les llenyes. Igual que el pèl·let, també es comercialitza a escala internacional amb estàndards EN o ISO. Segons la seva composició pot arribar a cotes molt baixes de cendres, reduint així les operacions de manteniment.

Per contra, el procés de compactació eleva el preu del combustible en comparació amb altres biomasses, i -sent la seva matèria primera principal subproducte de indústria- la seva fabricació no intervé directament en la gestió forestal. Per això, igual que els pèl·lets, no es tindrà en compte les briquetes a l'hora de descriure el procés de producció i subministrament.



Foto 10: Briquetes de diferents seccions. AFIB-CTFC.

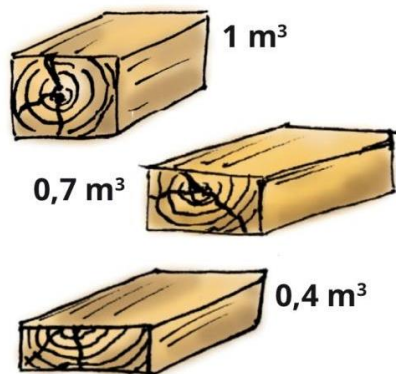
Característiques de les briquetes

- o Longitud variable i diàmetre ≥ 25 mm
- o Humitat: Generalment $<10\%$. Sempre $<15\%$)
- o Densitat: 1000-1300 kg / m³
- o PCI: 5.200 kWh / t₁₀, variable en funció de la matèria primera.
- o Cendres: $<3\%$ pes sec. Qualitat òptima $<0,5\%$

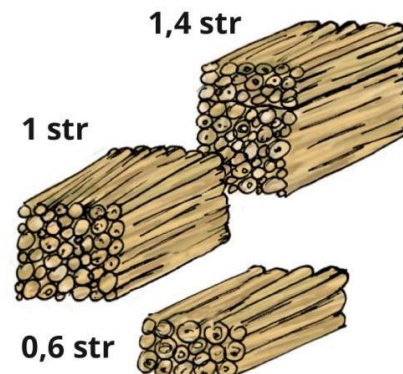
4 Factors de conversió

Factores de conversió orientatius para unitats de volum (2)

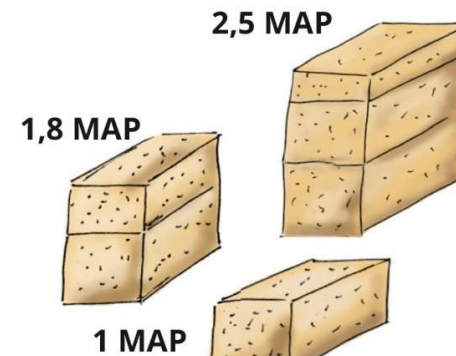
Fusta en roll (m³)



Fusta apilada (str)



Astella en metres cúbics aparents (MAP)



1 metre cúbic de sòlid (m³) ≈ 1,4 esteris de fusta apilada (str) ≈ 2,5 metres cúbics aparents d'estella (MAP)

Les conversions indicades són valors de referència, que poden variar depenent de les seves característiques intrínseques, la granulometria i compactació durant el transport.

Tabla 2: Coeficients de conversió energètica (valors arrodonits) (11)(Agence internationale de l'énergie)

	GJ	MWh	Tep
GJ	1	0,287	0,24
MWh	3,60	1	0,086
Tep	41,88	11,63	1

GJ: GigaJoule (10⁹ J)

MWh: Mega Wati hora (10⁶ Wh)

tep: tona equivalent de petróli

Tabla 3: Poder calorífic inferior de la fusta (PCI) (11)

	GJ	MWh	Tep
1 t de fusta seca	18,20	5,06	0,43
1 t de fusta 30 % Hbh	12,90	3,36	0,29
1 t de fusta 45 % Hbh	8,84	2,45	0,21
1 t de fusta 50 % Hbh	7,88	2,20	0,19

5 Conclusió

Definir de forma correcta els biocombustibles, és essencial per a la compra/venda d'aquests pel clar motiu que, depenent de les característiques i propietats d'aquests, principalment granulometria i humitat, que conformaran el poder calorífic entre altres variables del propi material, es donaran preus diferents per unitat de biocombustible, depenent de la qualitat d'aquests.

Subministrar la qualitat correcta a cada tipologia d'instal·lació de biomassa, que depenent de la seva potència, alimentació, cremador, etc., demana unes propietats de biocombustible diferents (la informació d'aquestes propietats ha de proporcionar el propi fabricant de la caldera), és de vital importància per fer una bona combustió (combustió completa), augmentant l'eficiència de les instal·lacions i reduint les emissions contaminants a l'atmosfera, trobo limitant en instal·lacions de calderes de biomassa domèstiques en zones urbanes.

Les cendres resultants de la combustió són un bon indicador de la pròpia combustió i per extensió de la qualitat del combustible que s'utilitza. En aquestes es pot detectar si al llarg de la cadena de traçabilitat del producte s'han afegit impropis que redueixin la qualitat d'aquesta, és per això que també és molt important l'estudi de l'origen i la cadena de producció dels biocombustibles, per detectar els punts febles i enfortir-los per crear un producte de millor qualitat.

B - Bibliografía

- 1 AENOR. **UNE-EN ISO 17225-1**: 2014 Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 1: Requisitos generales. Madrid: [s.n.], 2014.
- 2 LK STMK (AT) Y CTFC. **Biocombustibles de qualitat a l'abast de tothom. Informació pràctica sobre sistemes de calefacció amb biomassa forestal**. [S.I.]: CTFC, 2014.
- 3 FRANCESCATO, V.; ANTONINI, E.; ZUCCOLI, L. **Manual de combustibles de madera. Producción. Requisitos de calidad. Comercialización**. Valladolid: AVEBIOM, 2008.
- 4 FAMADAS, F.; CERVERA, T. **Biomassa forestal per a la producció d'energia tèrmica**. [S.I.]: Generalitat de Catalunya. DARPAMN. CPF., 2011.
- 5 AENOR. **UNE-EN ISO 17827-1**: 2016. Biocombustibles sólidos. Determinación de la distribución de tamaño de partícula para combustibles sin comprimir. Parte 1: Método del tamiz oscilante con abertura de malla igual o superior a 3,15 mm. Madrid: [s.n.], 2016.
- 6 AENOR. **EN-ISO 17827-2**: 2016. Biocombustibles sólidos. Determinación de la distribución de tamaño de partícula para combustibles sin comprimir. Parte 2: Método del tamiz vibratorio con abertura de malla inferior o igual a 3,15 mm. Madrid: [s.n.], 2016.
- 7 AENOR. **EN-ISO 17829**: 2015. Biocombustibles sólidos. Determinación de la longitud y el diámetro de pélets. Madrid: [s.n.], 2015.

8 AFIB, CTFC. **Síntesi d'informació temàtica: Biomassa.** [S.l.]: CTFC., 2012.

9 KRAJNC, N. **Wook fuels handbook.** Pristina: Ed. FAO, 2015.

10 AENOR. **UNE-EN ISO 16559: 2015** Biocombustibles sólidos. Terminología, definiciones y descripciones. Madrid: [s.n.], 2015.

11 FCBA. **Mémento FCBA.** [S.l.]: [s.n.], 2017.

12 RODRÍGUEZ, J. et al. **Aprofitament i desembosc de biomassa forestal.** [S.l.]: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Centre de la Propietat (CPF)., 2006.

13 NAVARRO, P. J. **Manifest per la defensa de l'ús de la biomassa forestal com a recurs energètic al Vallès Occidental.** [S.l.]: Inédito, 2017.

14 BOKU; CEPF; CTFC; ALUFR; WOOD K PLUS; CNPPF-IDF. **Prospects for the market supply of wood and other forest products from areas with fragmented forest-ownership structures.** Vienna (AT): Study for the European Commission. Retrieved on November 2017 from https://ec.europa.eu/agriculture/external-studies/supply-wood_en, 2010. University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna (BOKU); Confederation of European Forest Owners (CEPF); Centre Tecnològic Forestal De Catalunya (CTFC); Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (ALUFR); Kompetenzzentrum Holz GmbH (Wood K plus).

15 SOLANES, X. (.; LUDEVID, A.; BLANCH, J. S. **La biomassa forestal, una aposta de futur per a Catalunya.** [S.l.]: Direcció General del Medi Natural. Servei de Gestió Forestal. 37 pp., 2010.

Disseny i redacció: Judit Rodríguez

Crèdits d'Il·lustracions:

AFiB-CTFC

Edició: juny 2019

Maquetació: Eduter-CNPR



Aquest projecte va ser finançat amb el suport de la Comissió Europea. Aquesta publicació (comunicació) reflecteix únicament l'opinió de l'autor, i la Comissió Europea no és responsable de l'ús que pugui fer de la informació continguda en la mateixa.

Per a més informació contactar amb les entitats sòcies del projecte eforOwn

Si ets propietari/a forestal

A Bèlgica



A Espanya



A França



Si ets estudiant o formador/a

A Bèlgica



A Espanya



A França

