

Estudi de la viabilitat econòmica de la implantació d'una planta de piròlisi per a la producció de biochar en un context local i comarcal



Marc Saborit Creus

Llicenciatura de Ciències Ambientals

Projecte de final de Carrera

Setembre 2013

Directors:

Neus Puy Marimon

Jordi Bartrolí Molins

AGRAÏMENTS:

M'agradaria agrair a totes aquelles persones que han fet possible la realització d'aquest projecte, especialment als meus tutors que m'han aconsellat i orientat, Neus Puy i Jordi Bartrolí. En especial m'agradaria agrair l'esforç i la paciència de la Neus Puy, que en tot moment ha estat a sobre i ha aportat informació i correccions molt valuoses.

També agrair a les persones que m'han aportat informació molt important, com la Francesca Famadas, així com empreses i associacions, entre les quals la Serradora Boix. Finalment, donar les gràcies per tot el suport rebut per part de la família i amics.

Moltes gràcies a tots/es!



Índex

Agraïments.....	2
Índex.....	3
Índex de taules.....	6
Índex de figures.....	7
Índex de gràfics.....	8
BLOC I.....	9
1.Introducció.....	9
2. Objectius.....	11
3. Metodologia: Indicadors econòmics.....	12
BLOC II – CONTEXT.....	15
4. La Biomassa.....	15
4.1 Contextualització.....	15
4.2 Tipus de biomassa.....	16
4.3 Composició i caracterització de la biomassa.....	18
4.4 Caracterització de la biomassa.....	20
4.5 Avantatges i Inconvenients de la biomassa.....	23
4.5.1 Aspectes ambientals.....	23
4.5.2 Aspectes socioeconòmics.....	25
4.6 Limitacions de la biomassa com a combustible.....	26
4.7 Aprofitament forestal.....	27
4.8 Tractaments per a la biomassa.....	31
5. Piròlisi.....	34
5.1 Tipus de Piròlisi.....	35
5.1.1 Piròlisi Convencional o Piròlisi lenta.....	36
5.1.2 Piròlisi ràpida.....	37
5.2 Bio-oil.....	38

5.2.1 Propietats dels bio-oils.....	39
5.2.2 Aplicacions dels bio-oils.....	41
5.3 Biochar o Char.....	43
5.3.1 Propietats del biochar.....	44
5.3.2 Aplicacions del biochar.....	45
6. Gasificació.....	49
6.1. Etapes del procés.....	49
6.2 Tipus de gasificadors.....	51
6.3 Teoria de la gasificació.....	55
7. Torrefacció.....	57
7.1 Definició.....	57
7.2 Etapes del procés.....	57
7.3 Efectes de la temperatura en els components de la biomassa.....	59
7.4 Productes en el procés de torrefacció.....	61
7.5 Massa i rendiment energètic.....	62
7.5.1 Productes condensables.....	63
7.5.2 Productes no condensables.....	64
7.5.3 Eficiència del procés de torrefacció.....	66
7.6 Propietats físiques.....	67
7.7 Aplicacions tecnològiques: Pel·letització.....	69
7.8 Potencial econòmic.....	70
8. Revisió de l'estat actual de les tecnologies de conversió de biomassa a Catalunya.....	72
8.1 Projectes d'aprofitament de biomassa a Catalunya.....	72
8.2 Projectes d'aprofitament de biomassa en curs a Catalunya.....	73
BLOC III – ANÀLISI I RESULTATS.....	78
9. Inventari i anàlisi dels usos de la biomassa a Catalunya	78

9.1 Biomassa forestal al mercat.....	78
9.2 L'estella.....	79
9.2.1 L'amortització de les calderes d'estella.....	80
9.3 Pèl·let.....	82
9.3.1 Especificacions tècniques per a usos domèstics.....	83
9.4 Anàlisi dels usos de la biomassa a Catalunya.....	84
10. Descripció d'una planta de biomassa de cargol sense fi (auger reactor).....	92
11. Escenaris d'aprofitament de la biomassa.....	94
11.1 Introducció.....	94
11.2 Escenaris d'aprofitament segons el producte final.....	94
11.3 A nivell local.....	97
11.4 A nivell comarcal.....	107
11.5 Anàlisi de sensibilitat.....	114
11.6 Escenaris de futur.....	119
BLOC IV – CONCLUSIONS.....	121
12. Conclusions.....	121
13. Propostes de futur.....	127
BLOC V – REFERÈNCIES.....	129
14. Bibliografia.....	129
15. Pressupost.....	131
ANNEX.....	132
16. Cronograma.....	135

Índex de Taules

Taula 1. Variables i indicadors econòmics que varien en el nostre anàlisi econòmic.....	14
Taula 2. Caracterització de la biomassa. Anàlisi Immediat i Elemental. Poder Calorífic, Humitat i Densitat.....	20
Taula 3. PCI (kWh/t) en funció de la humitat.....	22
Taula 4. Avantatges i Inconvenients dels aspectes ambientals de la biomassa.....	24
Taula 5. Avantatges i Inconvenients dels aspectes socioeconòmics de la biomassa.....	25
Taula 6. Productes generats per diferents processos termoquímics.....	33
Taula 7. Tipus de gasificadors.....	52
Taula 8. Massa i rendiment energètic del salze a 280°C i 17,5 min de temps de reacció.....	62
Taula 9. Densitat aparent de la fusta d'Eucalyptus grandis en tres tractament diferents.....	68
Taula 10. Característiques de la biomassa forestal al mercat.....	78
Taula 11. Avantatges i Inconvenients de l'Estella.....	80
Taula 12. Mercat de la biomassa amb destinació energètica a Catalunya 2012.....	81
Taula 13. Avantatges i Inconvenients del Pèl·let.....	83
Taula 14. Mercat de Pèl·let a Catalunya el 2012.....	84
Taula 15. Producció, consum i exportació d'estella i pèl·let a Catalunya.....	86
Taula 16. Característiques físiques i comercials entre l'estella i el pèl·let.....	90
Taula 17. Paràmetres i Índexs en l'anàlisi econòmic de la planta.....	95
Taula 18. Estudis experimentals amb biomassa forestal realitzats en la planta pilot.....	96
Taula 19. Propietats de la biomassa, pèl·lets de biomassa, pèl·lets torrefactes, carbó de llenya i carbó.....	98
Taula 20. Variables i indicadors econòmics que varien en el nostre anàlisi econòmic.....	99

Taula 21. Quantitat de biomassa a comprar a nivell comarcal.....	100
Taula 22. Resultats de les variacions a Nivell Local.....	104
Taula 23. Quantitat de biomassa a comprar a Nivell Comarcal.	107
Taula 24. Resultats de les variacions a nivell comarcal.....	111
Taula 25. Anàlisi de sensibilitat a nivell local als escenaris amb procés de pel·letització.....	115
Taula 26. Taula completa de l'anàlisi de sensibilitat a Nivell Comarcal.....	118
Taula 27. Despeses dels recursos materials i d'oficina.....	131
Taula 28. Despeses dels recursos humans.....	131
Taula 29. Despeses de transport.....	131
Taula 30. Despeses totals del projecte.....	131
Taula 31. Calderes d'estella en equipaments municipal instal·lades a Catalunya (2009).....	132
Taula 32. Calderes de pèllet en equipaments municipal instal·lades a Catalunya (2009).....	133
Taula 33. Productors d'estella a Catalunya el 2012.....	133
Taula 34. Cronograma.....	135

Índex de Figures

Figura 1. Diagrama del flux de la biomassa.....	15
Figura 2. Residus que es consideren biomassa.....	18
Figura 3. Efecte del pretractament en la biomassa lignocel·lulòsica.....	27
Figura 4. Estellat a peu de pista.....	28
Figura 5. Estellat a carregador.....	29
Figura 6. Estellat de troncs a planta o magatzem.....	30
Figura 7. Diferents processos de transformació de la biomassa.....	31
Figura 8. Percentatges d'obtenció de bio-oil (líquid), carbó (char) y gasos (gas) que s'obtenen en una planta de tractament tèrmic de la biomassa en funció de la temperatura assolida en el reactor.....	36
Figura 9. Piròlisi de baixa temperatura.....	37

Figura 10. Imatge del Bio-oli.....	38
Figura 11. Imatge del Biochar.....	44
Figura 12. Adsorció del fòsfor a biochar produïda per la Robina pseudoacacia L a 350°C en 16h.....	46
Figura 13. Diagrama de Van Krevelen.....	59
Figura 14. Pèrdua de pes a l'àlber en funció de la temperatura.....	61
Figura 15. Productes formats durant la torrefacció de la biomassa.....	61
Figura 16. Balanç de masses per diferents experiments de torrefacció.....	63
Figura 17. Rendiments dels volàtils condensables durant la torrefacció.....	64
Figura 18. Volàtils no condensables per diferents condicions de torrefacció.....	65
Figura 19. Canvis en la composició de gas durant el temps en la torrefacció a 250°C.....	65
Figura 20. L'estructura prevista conceptualment del procés de torrefacció segons ECN.....	66
Figura 21. Pel·letització, torrefacció i procés TOP.....	70
Figura 22. Rendiment energètic de planta de gasificació.....	73
Figura 23. Percentatge de producció dels diferents tipus de biomassa.....	85
Figura 24. Percentatge de subministrament i comercialització dels diferents tipus de biomassa.....	85
Figura 25. Planta de biomassa de l'empresa francesa Biogreen.....	93
Figura 27. El "pyrolyzer" Spirajoule.....	93
Figura 25. Biorefineria.....	120

Índex de Gràfics

Gràfic 1. Comparativa de preus(en €/MWh) de diferents fonts d'energia.....	10
Gràfic 1. Producció, consum i exportació d'estella a Catalunya.....	89
Gràfic 2. Producció, consum i exportació de pèl·let a Catalunya.....	89

BLOC I

1. Introducció

El futur del nostre planeta camina cap a les energies renovables i un ús més sostenible dels recursos si no volem accentuar els problemes que hi ha actualment. En aquest context, al treball que presentem a continuació intentem explicar els avantatges que representa l'ús de la biomassa per l'obtenció d'energia d'una manera respectuosa amb el medi ambient i amb un impacte ambiental pràcticament ínfim. Per això, portem a terme l'estudi de la viabilitat econòmica de la implantació d'una planta de piròlisi per a la producció de biochar en un context local i comarcal.

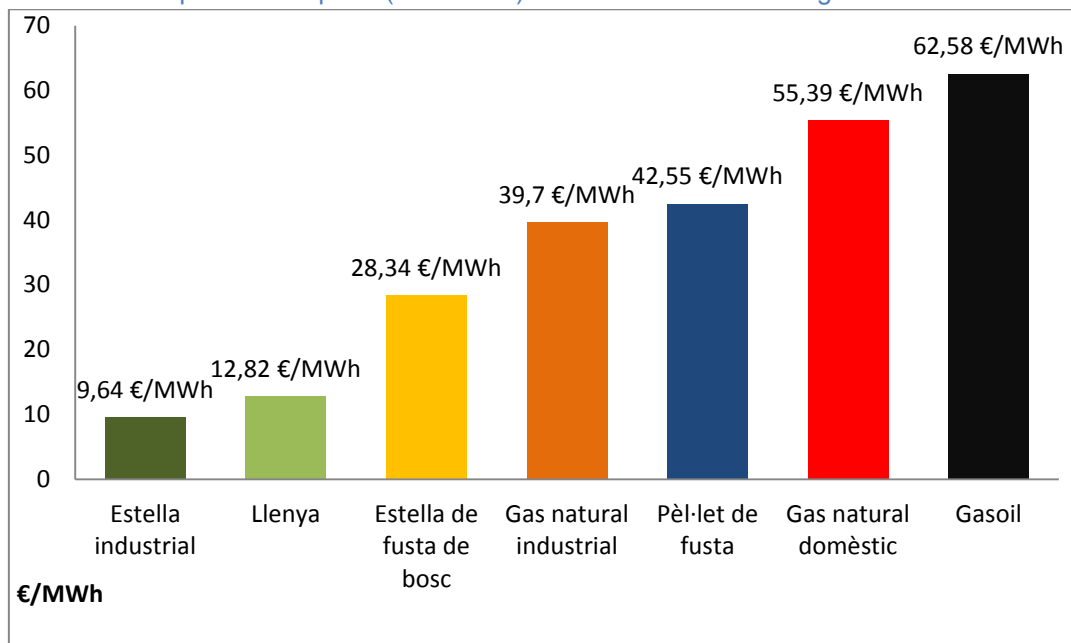
Actualment, existeixen problemes i incògnites sobre les actuals fonts d'energies. Ens referim als combustibles fòssils, que una de les principals problemàtiques que presenten és la contaminació que generen al planeta i en concret al medi ambient. El carbó, el petroli i el gas natural, tots combustibles fòssils, quan combustionen, és a dir reaccionen amb l'oxigen de l'aire, alliberen i produeixen òxids de carboni i altres compostos que són contaminants i provoquen fenòmens com la contaminació atmosfèrica, la boira fotoquímica, la pluja àcida que fan accelerar el canvi climàtic i l'escalfament planetari.

Així doncs, necessitem fonts d'energies renovables, que ja existeixen actualment, però que s'acostin al rendiment energètic dels combustibles fòssils.

Una altra problemàtica en forma d'incògnita que presenten els combustibles fòssils és, fins quan serà possible gaudir de la seva disponibilitat? És a dir, quan s'acabaran? Aquest és un dels grans dubtes que presenten, és a dir, que són finits a diferència de les fonts d'energia renovables com són l'energia eòlica, l'energia solar i també hi podríem incloure la que tractarem en aquest treball: l'energia provinent de la biomassa.

Així doncs, veient les problemàtiques que hem comentat anteriorment dels combustibles fòssils intentarem explicar els avantatges que representa la biomassa respecte els anteriors com a font d'energia renovable. Per començar-nos a introduir aquestes avantatges esmentades, tenim en el **gràfic 1** que mostrem a continuació, la comparativa de preus en €/MWh de diferents energies, tant renovables com no renovables. Com es pot observar, totes les energies provinents de la biomassa (estella industrial, llenya, estella de fusta de bosc i pèl·let de fusta) ocupen les primeres posicions i solament passa per davant del pèl·let el gas natural industrial. Amb això el que volem dir és que l'energia provinents de la biomassa és molt més econòmica que les fonts d'energia no renovables, el que significa un punt molt positiu respecte altres fonts d'energia.

Gràfic 1. Comparativa de preus(en €/MWh) de diferents fonts d'energia.



Estella industrial = 25€/t45; Llenya = 50 €/t20; Estella de fusta de bosc = 100 €/t30; Gas natural industrial = 11,03 €/GJ; Pèl·let de fusta = 200 €/t10; Gas natural domèstic = 18,92 €/GJ; Gasoil = 0,62 €/l

Font: AFIB-CTFC a partir de dades de la Comissió Europea (Energia i Eurostat).

En el treball, no ens quedarem en la part purament teòrica i d'explicació, sinó que farem un anàlisi econòmic d'una possible instal·lació real de processament de biomassa mitjançant la piròlisi, la qual, produirà uns productes útils per a la generació d'energia. També, analitzarem la situació actual de la biomassa, és a dir, la seva utilització avui en dia i els projectes que s'han dut a terme i que es duran a terme a curt i llarg termini en el futur.

Així doncs, el fet que serà necessari una gran quantitat de biomassa per la nostra teòrica instal·lació, necessitarem saber de quin tipus n'utilitzem i el per què. El més obvi és l'obtenció de biomassa d'un lloc proper a la planta per tal d'abaratir els costos finals. També tindrà importància el lloc on hi hagi la futura instal·lació, ja que per exemple, no és el mateix la localització d'una planta de biomassa en un municipi o en una comarca. Aquest punt serà clau en el nostre anàlisi econòmic. La localització de la instal·lació també acabarà influint en el tipus de biomassa que estarà disponible al voltant, ja que no és el mateix la situació d'aquesta a l'interior o muntanya o en canvi, a les comarques del pre-litoral o litoral català amb les grans ciutats que existeixen.

Malgrat tot el que acabem de comentar, el tipus de biomassa que utilitzarem serà principalment la biomassa natural, els residus forestals i també residus agrícoles lignocel·lulòsics, procedents de poda i arrancada d'oliveres, fruiters, etc.

2. Objectius

L'objectiu principal d'aquest projecte és estudiar la viabilitat econòmica de la implantació d'una planta de piròlisi per a la producció de biochar en un context local i comarcal. Per tal d'assolir aquest objectiu principal, prèviament es realitzen una sèrie d'objectius específics com són:

- Explicar dels diferents tipus de tractaments termoquímics que podem aplicar per tal de processar la biomassa.
- Revisar l'estat actual de la tecnologia pel que fa als tractaments que s'apliquen a la biomassa i en especial els termoquímics.
- Realitzar un inventari i anàlisi dels usos de la biomassa a Catalunya.
- Analitzar a nivell local i comarcal de la possible viabilitat econòmica d'una planta de biomassa per la producció de biochar mitjançant el tractament termoquímic de la piròlisi. A més a més, es durà a terme un anàlisi de sensibilitat així com possibles escenaris futurs i la descripció dels components d'una planta de biomassa.

3. Metodologia: Indicadors econòmics

A partir dels següents indicadors econòmics que expliquem a continuació, podrem fer *a posteriori* els anàlisis econòmics de la planta de processament de biomassa.

Anàlisi Cost-Benefici

L'anàlisi cost-benefici (ACB), és un procés sistemàtic per calcular i comparar els beneficis i els costos d'un projecte, per tal de facilitar la presa d'una decisió de tirar-lo endavant o no. Aquest anàlisi té principalment dos propòsits com:

- Determinar si és una bona inversió/decisió (justificació/viabilitat),
- Proporcionar una base per a comparar projectes. Es tracta de comparar el cost total esperat de cada opció davant els beneficis totals esperats, per veure si els beneficis superen els costos, i per quant.

Valor Actual Net (VAN)

El valor actual net o *net present value* en anglès és un procediment que permet calcular el valor present d'un determinat nombre de fluxos de caixa (*cash flows*) futurs originats per una inversió. Consisteix en descomptar al moment actual (mitjançant una taxa) tots els fluxos de caixa futurs del projecte. En aquest valor, es resta la inversió inicial, de tal manera que el valor obtingut és el valor actual net del projecte. La fórmula és:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

On:

V_t representa els fluxos de caixa en cada període t .

I_0 és el valor del desemborsament inicial de la inversió.

n es el número de períodes considerat.

El tipus d'interès es k . Si el projecte no té risc, s'agafarà com a referència el tipus de la renda fixa, de tal manera que amb el VAN s'estimarà si la inversió és millor que invertir en alguna cosa segura, sense risc específic. En altres casos, s'utilitzarà el cost d'oportunitat.

Quan el VAN pren un valor igual a 0, la k passa a dir-se TIR (taxa interna de retorn).

Taxa Interna de Retorn (TIR)

La taxa interna de retorn o taxa de rendibilitat (en anglès: Internal rate of return; IRR) mesura la rendibilitat al venciment d'una inversió en forma de taxa anual. Alguns autors, la defineixen com la taxa de descompte amb la que el valor actual net (VAN) és igual a zero. Se l'anomena rendibilitat al venciment perquè permet comparar entre diferents projectes d'inversió de durada -venciment-diferent, determinant una mesura estàndard que informa de quina serà la rendibilitat al final del projecte, al venciment. Definida en termes de direcció financera, la taxa interna de rendibilitat (TIR) és aquella taxa d'interès «r» que fa que el valor actual net (VAN) d'un projecte d'inversió sigui igual a 0. La denominació «interna» es refereix a la seva principal virtut, i alhora limitació, doncs es refereix a que no té en compte factors externs (per exemple el tipus d'interès oficial -cost d'oportunitat del capital- o la inflació). És a dir, la TIR és la rendibilitat que ens està proporcionant el projecte.

Rendibilitat

La rendibilitat o taxa de retorn (de l'anglès: Rate of return o Return on investment o Rate of profit, acrònims: ROR i ROI) és la ràtio financera o taxa entre el retorn que genera una inversió, i la quantitat invertida, amb la particularitat que s'expressa com a percentatge anual; matemàticament doncs, el rendiment s'expressa en forma de taxa. Gràcies a això la rendibilitat serveix per comparar diversos projectes d'inversió amb un únic criteri comparable entre ells, és a dir, quin rendiment generen al cap d'un any. Dit d'una altra manera, la rendibilitat és una taxa que mesura en forma de percentatge l'eficiència d'una inversió.

Un cop vist diferents índexs a nivell teòric, adjuntem (**taula 1**) tots els índexs i formules que utilitzarem per fer els càlculs pertinents en el futur estudi de viabilitat econòmica.

Taula 1. Variables i indicadors econòmics que varien en el nostre anàlisi econòmic.

Indicadors econòmics	Operació
Costos totals (€/any) =	Costos fixes + Costos variables Costos fixes = amortització + assegurança Costos variables = preu biomassa + (Cost del personal + Cost del manteniment + Cost del consum d'energia de la planta)
Benefici abans d'impostos i taxes (BAIT) =	Venta biochar (€/any) – (Costos fixes + Costos variables)
Benefici després d'impostos (BDI) = (parlem de l'impost de societats)	BAIT – Impost societats (30%)
Cash-Flow de la planta = (BDI + amortització)	BDI + Amortització
Valor Actual Net = (VAN)	Cash Flow / (1 + tipus d'interès (0,05)) ^ any de vida útil (15 anys totals) Així doncs el VAN pels diferents preus de compra de la biomassa serà el sumatori de tots els anys de vida útil de la planta
Índex de rendibilitat = (IR) Vàlid quan > 1	VAN / Cost total de la inversió Cost total de la inversió = Cost d'inversió de la planta (€) + Inversió en el procés de pel·letització
Taxa Interna de Retorn = (valor que fa el VAN més a prop de 0)	El valor que fa el VAN 0

Font: Elaboració pròpia.

BLOC II - CONTEXT

4. La Biomassa

4.1 Contextualització

La biomassa és el conjunt de la matèria orgànica d'origen animal o vegetal, incloent els materials que procedeixen de la seva transformació natural o artificial¹. Durant molt de temps la biomassa i l'energia solar han estat les úniques energies utilitzades com a font d'energia tèrmica (energia alliberada en forma de calor) i encara ara continuen sent una importat font energètica renovable i no contaminant. Una gran diversitat de productes proporcionen biomassa, entre els quals hi ha els forestals com la llenya, fusta o els rebuigs de fusta, les deixalles agrícoles com la palla i les deixalles animals com per exemple excrements procedents de les granges. En el darrer segle, l'home ha après a recuperar l'energia de les deixalles domèstiques, anomenades RSU (residus sòlids urbans) com pot ser el paper, el cartró o restes d'aliments. Tots aquests tipus de biomassa queden sintetitzats a la **figura 1**.

L'energia de la biomassa està continguda en els enllaços químics altament energètics presents a la matèria viva. Aquesta energia que es pot obtenir prové de la llum solar, la qual, gràcies al procés de fotosíntesi, és aprofitada per les plantes verdes i transformada en energia que queda acumulada a l'interior de les seves cèl·lules. Aquesta energia pot ser traspasada per la cadena alimentària al regne animal. Per tant, qualsevol ésser viu o les seves restes constitueixen una font potencial d'energia que es pot alliberar i utilitzar directament o mitjançant un tractament previ.

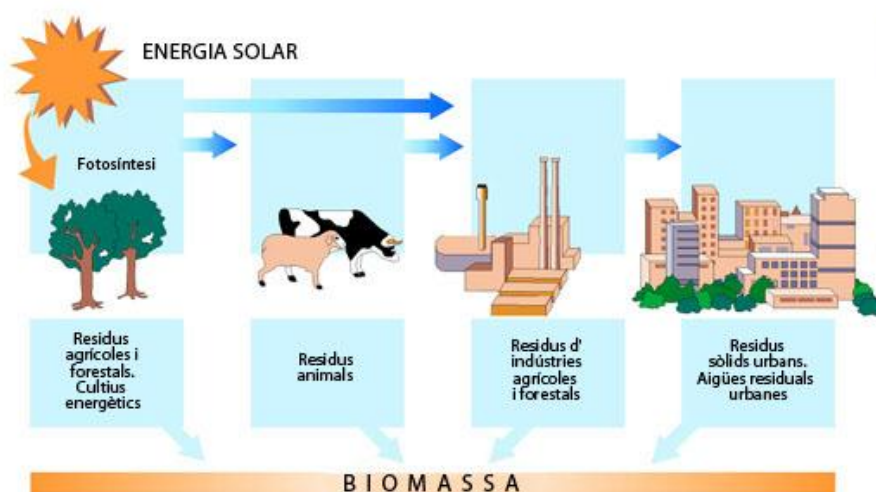


Figura 1. Diagrama del flux de la biomassa Font: <http://www.empresaeiciente.com>

¹ ICAEN. Institut Català de l'Energia. <http://www.icaen.net>

Atenent al seu origen, podem classificar la biomassa, de la qual es pot extreure energia útil per a la humanitat, en: biomassa natural, cultius energètics i biomassa residual.

4.2 Tipus de biomassa

Una manera de classificar la biomassa en el context de producció energètica és segons el grau d'intervenció humana en la seva producció. Així, podem diferenciar entre: biomassa natural, com a cultius amb un aprofitament clarament orientat a la producció d'energia i finalment com un residu dels treballs forestals, urbans i agrícoles, o de les seves indústries associades.

La **biomassa natural** és la que es produeix de forma espontània a la natura (boscos o el mar) sense cap intervenció humana, com per exemple, les podes naturals dels boscos. El problema que presenta aquest tipus de biomassa és la necessària gestió de l'adquisició i transport del recurs fins al lloc de la seva transformació i, posteriorment, fins al lloc de la seva utilització. Això pot provocar que l'explotació d'aquesta biomassa sigui inviable econòmicament.

La **biomassa procedent de cultius energètics** fa referència a les restes de cultius de plantes de creixement ràpid i alt contingut energètic (biocultius) realitzats amb l'únic objectiu d'obtenir-ne un rendiment energètic. Exemples en són la biomassa sòlida (conreus lignocel·lulòsics d'espècies llenyoses com l'eucaliptus i els pollancre o d'espècies herbàcies com el card) i els biocarburs o combustibles líquids (conreus d'oleaginoses com la colza i el gira-sol o de cereals com el blat i el blat de moro que són productors d'etanol). Aquests conreus presenten una gran producció per superfície i any; en el cas de les espècies llenyoses es fan conreus en torns de 3-4 anys i amb una densitat de 10.000 peus per hectàrea. A la pràctica, els cultius energètics s'adapten al clima i al sòl de cada indret i mentre que a llocs com els països nòrdics hi ha boscos orientats a produir fusta que es crema a les centrals elèctriques, a les nostres latituds els cultius energètics s'orienten a les plantes herbàcies. Així, per exemple, cereals i oleaginoses com la colza són cultivats expressament amb l'objectiu de produir respectivament alcohol o oli els quals, després d'un tractament determinat, podran ser emprats en motors d'automòbils.

L'origen de la **biomassa residual** està associat a la gestió de residus generats per les activitats humanes. Per una banda inclou tots els residus i restes d'activitats agrícoles, ramaderes, forestals i del les seves indústries de primera transformació i per altre banda, els residus sòlids urbans (RSU), aigües residuals, olis i residus orgànics generats en indústries diverses. Podem

classificar la biomassa residual segons el seu contingut d'aigua o en funció del seu origen.

1. Segons el seu contingut d'aigua tenim la biomassa humida, com poden ser les aigües residuals i industrials i els residus ramaders (majoritàriament purins) i la biomassa seca que són residus generats en activitats agrícoles (restes vegetals de conreus convencionals) i forestals (llenya, branques, matolls), en la indústria agroalimentària i en la indústria de transformació de la fusta.
2. Segons l'origen de la biomassa residual tenim en primer lloc els residus forestals que són aquells en que fem un aprofitament dels residus dels nostres boscos i formen una font molt important de recursos de la biomassa. Entre aquests hi trobem restes de les podes, serradures, encenalls, retalls i escorces, que es generen tant al camp com a les indústries on s'aprofita la fusta, que són les principals consumidores d'aquest recurs amb finalitats energètiques. En segon lloc tenim els residus agrícoles van des de les podes d'oliveres, ceps i fruiters fins als residus dels cultius herbacis com ara la palla dels cereals. És a dir, són les restes dels conreus (tant llenyosos com herbacis) i també les neteges que es fan al camp per tal d'evitar les plagues o els incendis. Una part d'aquests residus es queda al camp per tal de que la terra recuperi part del nutrients perduts però una altra part pot ser usada com a combustible. Igual que en el cas anterior, dins d'aquest grup s'inclouen els residus que es generen a les indústries que tracten els productes agrícoles com la pinyolada en el cas de la producció d'oli d'oliva o les closques d'ametlla en el cas de les indústries de fruits secs.

D'altra banda, ja en el nostre segle, l'home també ha après a recuperar l'energia de les deixalles domèstiques, els anomenats residus sòlids urbans (RSU), les quals constitueixen un cas singular de la biomassa. Les deixalles tenen un alt contingut en matèria orgànica i altres components com ara el paper, amb un poder calorífic similar al dels carbons dolents. Actualment, amb tecnologies molt diverses, s'extreu l'energia que nosaltres hem dipositat al contenidor del carrer en forma de bossa d'escombraries. Cal no oblidar, però, que la millor estratègia d'eliminació dels residus urbans consisteix a combinar processos de recollida selectiva amb reciclatge i compostatge, i alhora limitar, com més millor les opcions d'abocament i incineració, pels problemes mediambientals que generen. Aquesta biomassa inclou la fracció orgànica dels RSU, els fangs d'estacions depuradores d'aigües residuals i el reciclatge d'olis vegetals com a biocombustibles. Addicionalment, també conté els residus generats pels processos d'indústries agroalimentàries i de transformació de la fusta. En la següent **figura 2** res resumeixen els diferents residus considerats com a biomassa.

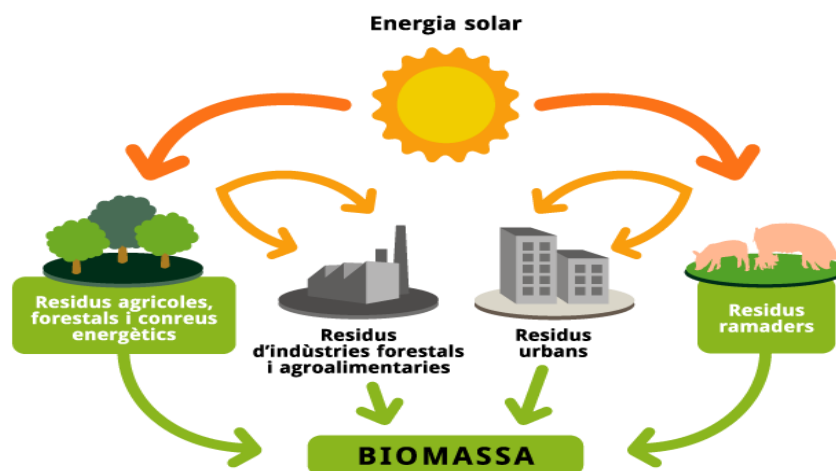


Figura 2. Residus que es consideren biomassa Font: www.sofos.es

4.3 Composició de la biomassa

Els components principals de la biomassa forestal són els hidrats de carboni, els lípids i les proteïnes. La proporció amb la qual podem trobar aquests components varia en funció de la naturalesa de la biomassa. En general, la matèria orgànica vegetal està constituïda en la seva majoria per hidrats de carboni en forma de compostos lignocel·lulòsics. Tenint en compte que aquests compostos són els constituents de la paret cel·lular i que aquesta representa el 95% del material de la planta (en pes sec), podem dir que aquests seran els components bàsics de la biomassa².

La biomassa residual (forestal i agrícola) està generalment formada per dos grups de substàncies. Per una banda, les substàncies primàries constitueixen la paret cel·lular, on trobem les principals macromolècules (cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina) presents a tots els tipus de fusta. L'altre grup de substàncies secundàries són de baix pes molecular i són conegudes també com substàncies extraïbles (components solubles) que es caracteritzen per la seva variabilitat (tant en estructura com en quantitat).

La proporció i composició química de la lignina i de les poliooses difereix per als diferents tipus de fustes mentre la cel·lulosa és uniforme en composició en totes les fustes.

A continuació es descriuen breument els components principals de la biomassa²:

La **cel·lulosa** és un polisacàrid estructural format per glucosa que representa aproximadament el 30% de la matèria seca vegetal. Està formada per molècules de β -D-glucosa unides per enllaços 1-4 glicosídics i té un grau de

² CORDERO, E. (2004). Apuntes sobre la composició química de la maderà. <http://www.monografias.com/trabajos15/composicion-madera/composicionmadera.shtml>

polimerització de 8 a 10000 unitats. Les funcions de la cel·lulosa són les de donar consistència i protecció a les plantes. Es tracta d'una substància molt resistent als agents químics (la seva estructura cristal·lina altament ordenada limita l'accessibilitat dels reactius i dels enzims), és insoluble en quasi tots els dissolvents i a més és inalterable a l'aire sec. La seva temperatura d'estallatge a pressió d'un bar és d'uns 232 °C.

Les **hemicel·luloses** són polisacàrids d'alta massa molar formats per diferents unitats de monosacàrids: pentoses, hexoses i àcids urònics (manosa, xilosa, galactosa, arabinosa...). Tenen un grau de polimerització de entre 100 i 200 i estan units entre si mitjançant enllaços glicosídics que formen estructures ramificades i, en general, amorfes. L'estructura química i la composició de les hemicel·luloses és diferent segons les espècies. Representen entre un 10 i un 20% de la matèria seca vegetal i són insolubles en aigua, però solubles en bases fortes i fàcilment hidrolitzades pels àcids.

La **lignina**, que representa un 20% de la matèria seca dels vegetals, és una macromolècula de naturalesa polímera formada per la polimerització a l'atzar de varis àcids i d'alcohols fenilpropílics. L'acoblament aleatori d'aquests radicals dóna origen a una estructura tridimensional amorfa característica de la lignina. Està formada per l'extracció irreversible de l'aigua dels sucres creant compostos aromàtics. Es caracteritza per un complex aromàtic (no carbohidrat) a partir del qual existeixen molts polímers estructurals. Els polímers de lignina són estructures transconnectades amb un elevat pes molecular. Consisteix en el polímer natural més complexe en relació a la seva estructura i heterogeneïtat. Per aquesta raó no és possible descriure una estructura definida de la lignina. Després dels polisacàrids, la lignina és el polímer orgànic més abundant en el món vegetal. És important destacar que és l'única fibra no polisacàrida que es coneix. Les seves funcions són essencials per a la planta ja que proporciona rigidesa a la paret cel·lular i actua com a pont d'unió entre les cèl·lules de la fusta donant resistència. La seva gran estabilitat química la fa difícilment degradable per reactius tant químics com biològics, degut al elevat contingut en compostos aromàtics fenòlics.

Finalment, les **substàncies extraïbles** són components de la planta solubles en aigua o en diferents dissolvents orgànics que se separen de la paret cel·lular insoluble (tal i com hem comentat anteriorment degut a la insolubilitat del seu component estructural majoritari: la cel·lulosa). Dins aquest grup hi podem trobar hidrocarburs alifàtics i aromàtics, alcohols, fenols, terpens, aldehids, àcids alifàtics, àcids grassos, ceres, glicèrids, compostos nitrogenats, etc. En general aquestes substàncies representen entre un 2 i un 8 % de la biomassa. Una vegada es coneix la composició de la biomassa residual forestal ja es pot parlar de les seves principals característiques com ara el seu contingut energètic, que determinarà el seu poder calorífic, i de les diferències

d'emissions entre la crema de combustibles fòssils (CF) i la crema de biomassa per a l'obtenció d'energia.

4.4 Caracterització de la biomassa

S'utilitzen diferents variables per a la caracterització de la biomassa com es mostren en la **taula 2**.

Taula 2. Caracterització de la biomassa. Anàlisi Immediat i Elemental. Poder Calorífic, Humitat i Densitat.

Anàlisi Immediat	
Carboni Fix	16-32%
Volàtils	65-85% Contingut elevat comparat als combustibles fòssils.
Cendres	0.2-5% Baix contingut comparat als combustibles fòssils.
Humitat	10-85%
Anàlisi Elemental	
Carboni	46-55% Contingut baix en comparació a combustibles fòssils.
Hidrogen	5,5- 7%
Nitrogen	0,2-1%
Sofre	<0,1% Contingut molt baix en comparació a combustibles fòssils.
Oxigen	35- 44% Contingut elevat en comparació a combustibles fòssils.
Poder Calorífic (kcal/kg)	3.000-4.000 (un terç dels combustibles derivats del petroli)
Humitat (%)	Molt variable en funció del tipus de biomassa (entre el 10% i el 90%).
Densitat (kg/m3)	Molt variable en funció del tipus de biomassa (entre 30 kg/m3 i 350 kg/m3).

Font: Elaboració pròpia a partir de (1).

El contingut energètic de la biomassa es mesura amb el que s'anomena **poder calorífic**:

- El PCS (Poder Calorífic Superior) es defineix com el calor després per la combustió de 1 kg de combustible a la pressió de 1 bar, suposant que l'aigua generada en el procés es troba en forma líquida.
- El PCI (Poder Calorífic Inferior) es defineix com el calor després per la combustió de 1 kg de combustible a la pressió de 1 bar, suposant que l'aigua generada en el procés es troba en forma de vapor.

A la pràctica, el poder calorífic utilitzat és l'inferior (PCI) perquè la biomassa sempre té una humitat i per tant, resulta més útil.

Els valors de poder calorífic de la biomassa es poden donar en base seca o en base humida i depenen molt del tipus de biomassa i de la seva humitat.

A la **taula 3** que adjuntem a continuació, es mostra els diferents valors del Poder Calorífic Inferior (PCI) per diferents tipus d'espècies d'arbres i en funció de la seva humitat.

Taula 3. PCI (MJ/t) en funció de la humitat* (humitat de la fusta en base humida).

Percentatge d'humitat (%)	0	10	20	25	30	35	40	45	50	60
Espècie										
Alzina	19105,2	16952,4	14796	13719,6	12643,2	11563,2	10486,8	9410,4	8330,4	6177,6
Roure	17910	15876	13838,4	12823,2	11804,4	10785,6	9770,4	8751,6	7732,8	5698,8
Pi roig	19216,8	17049,6	14886	13802,4	12718,8	11635,2	10551,6	9471,6	8388	6220,8
Pinassa	19065,6	16912,8	14763,6	13687,2	12614,4	11538	10461,6	9385,2	8312,4	6159,6
Pi blanc	18295,2	16221,6	14148	13111,2	12074,4	11037,6	10000,8	8964	7927,2	5853,6
Pi pinyer	19346,4	17168,4	14990,4	13899,6	12808,8	11721,6	10630,8	9543,6	8452,8	6274,8
Pollancre	17334	15357,6	13377,6	12391,2	11401,2	10411,2	9424,8	8434,8	7444,8	5468,4
Castanyer	18662,4	16552,8	14443,2	13384,8	12330	11275,2	10220,4	9165,6	8110,8	6001,2
Faig	17823,6	15796,8	13770	12758,4	11743,2	10731,6	9716,4	8704,8	7689,6	5662,8

Font: Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC).

4.5 Avantatges i Inconvenients de la biomassa

4.5.1 Aspectes ambientals

En aquest apartat parlarem dels avantatges i inconvenients que presenta la biomassa, tan els ambientals com els socioeconòmics (**taula 4 i 5**).

En aquest projecte s'estudia la viabilitat econòmica d'una planta de processament de biomassa. Així doncs, el tipus de biomassa que és del nostre interès és aquella que estigui més a l'abast o estigui més a prop de la planta per poder abaratir costos. Per tant, seran principalment restes forestals amb un previ condicionament com l'estella, però també hi haurà la possibilitat d'utilització de residus agrícoles lignocel·lulòsics, procedents de poda i arrancada d'oliveres, fruiters... La nostra elecció pels residus forestals es deu, en part, perquè les neteges de bosc ajuden a disminuir els riscos d'incendis. Pel que fa als residus agrícoles, la seva utilització pot servir per aprofitar un recurs que ara mateix no s'aprofita i que a més se'n pot tenir un rendiment, com per exemple tancar el cicle a les cooperatives. Amb això ens referim al fet que les pròpies cooperatives a la llarga es podran fabricar el seu propi biocombustible (bio-oli, biochar...) i que això permeti que els seus tractors i parc mòbil es puguin moure amb el seu propi biocombustible. Com a pas previ, es pot pirolitzar la biomassa per produir biochar i que aquest s'utilitzi en les calderes del propis socis de la cooperativa. Aquí rau el gran avantatge d'aquest tipus de tecnologia i planta, en que es pot obtenir diferents productes segons les necessitats.

<u>Avantatges</u>	<u>Inconvenients</u>
<ol style="list-style-type: none">1. La seva <u>combustió</u> en condicions adequades no contribueix a augmentar l'efecte hivernacle, ja que el balanç d'emissions de CO₂ és neutre. Quan hi ha la combustió de la biomassa, (productes aigua i CO₂), però l'emissió d'aquest gas, ja va ser captada prèviament per la planta durant el seu creixement i per tant no suposa un increment de CO₂ a l'atmosfera. Això es compleix sempre i quan la vegetació es renovi a la mateixa velocitat a la que es degrada durant el seu aprofitament. La biomassa circula entre l'atmosfera i la vegetació. Val a dir, però, que en el procés de pretractament i transport existeixen emissions de CO₂, i a vegades són emissions molt grans.2. La combustió de la biomassa no genera emissions de sulfurs (SO₂) ni d'òxids de nitrogen (NOx), l'anomenada pluja àcida ni partícules sòlides.*3. Una part de la biomassa procedeix de residus que són necessaris eliminar i el seu aprofitament energètic suposa convertir un residu en un recurs.4. Millora les masses forestals amb densitat excessiva que és compatible amb les operacions de prevenció d'incendis i ajuda a un millor creixement que comporta un aprofitament econòmic molt més eficient del bosc.	<ol style="list-style-type: none">1. Extracció de la biomassa. Això provoca la desaparició dels efectes positius que tindria la permanència de les restes sobre el terreny generant una desprotecció del sòl.2. La desprotecció del sòl pot accelerar diferents processos, principalment l'erosió i el posterior transport i sedimentació dels sediments. També cal esmentar que3. Es pot produir una reducció en la quantitat de matèria orgànica present al sòl que provoca una davallada dels nivells de nutrients al sòl.4. La configuració física de la biomassa, la seva disposició al bosc i les seves característiques poden ser una dificultat afegida a l'hora d'extreure-la. A més a més, la matèria prima ocupa molt volum i, per tant, pot generar problemes de baixa eficiència econòmica en el transport i emmagatzemament. <p>* Val a dir, que això depèn del tipus de biomassa.</p>

Taula 4. Avantatges i Inconvenients dels aspectes ambientals de la biomassa. Font: Elaboració pròpia.

4.5.2 Aspectes socioeconòmics

Avantatges	Inconvenients
<ol style="list-style-type: none">1. Estalvi energètic que pot haver-hi amb els combustibles fòssils. Amb la utilització de la biomassa com una font d'energia local, es disminueix la dependència dels combustibles fòssils i també de la dependència energètica d'aquests provinents de l'exterior, que resulta costosa.2. El punt 1, comporta una reducció de l'impacte ambiental (emissions d'efecte hivernacle) ja que no es consumeixen tants combustibles fòssils, que són contaminants, a diferència de la biomassa que no ho és.3. Per acabar, tot el que comporta la utilització, gestió i transport de la biomassa afavoreix la creació de nous llocs de treball, principalment en zones rurals i també de noves oportunitats de negoci a la indústria, afavorint la investigació i el desenvolupament tecnològics i incrementant de la competitivitat comercial dels productes. Per exemple, això pot significar un nou mercat per als propietaris forestals amb la reducció de despeses i la dinamització del sector de la fusta.	<ol style="list-style-type: none">1. A causa del seu alt contingut en residus inutilitzables (15%-90%), és a dir, la seva baixa densitat energètica, el transport d'aquesta biomassa és car i, fins i tot, podria ser ineficient econòmicament.2. També és costós la recollida i l'emmagatzematge.3. El punt 1 i el punt 2, ens portarien, a dur a terme la transformació física en el mateix punt en que s'obté la biomassa.4. Genera uns costos elevats per a particulars pel que fa referència a la instal·lació de la caldera i a més és necessària la transformació i condicionament de la biomassa per la seva utilització.5. La informació de la qual disposa la gent és escassa (desconeixement de la biomassa i el seu potencial) i hi ha una manca de projectes de demostració de la viabilitat d'aquest tipus d'aprofitament.6. La producció de biomassa és totalment estacional degut a les restriccions climatològiques i a les marcades per la protecció tant del medi físico-biòtic com el socioeconòmic.

Taula 5. Avantatges i Inconvenients dels aspectes socioeconòmics de la biomassa. **Font:** Elaboració pròpia.

4.6 Limitacions de la biomassa com a combustible

La biomassa té certes limitacions si és comparada amb els combustibles fòssils com per exemple, baixa densitat aparent, alt contingut d'humitat, una naturalitat hidròfila i poca capacitat calorífica. Totes aquestes característiques fan que la biomassa original sigui més difícil d'utilitzar a gran escala, però ni molt menys fa impossible la seva utilització.

Degut a la seva baixa densitat energètica, grans quantitats de biomassa són necessàries i això comporta problemes associats amb l'emmagatzematge, el transport i la manipulació en plantes termoquímiques i bioquímiques.

L'alt contingut d'humitat en la biomassa original és un dels primers desafiaments, ja que redueix l'eficiència del procés i incrementa els costos de producció del combustible. Aquest alt contingut d'humitat, condueix a la descomposició natural, donant a lloc a problemes de pèrdua de qualitat i d'emmagatzematge com ara les emissions de gasos de sortida. Una altra de les conseqüències de la humitat, és la incertesa que causa en les propietats físiques, químiques i microbiològiques de la biomassa. També, les diferents formes de la biomassa constitueixen un altre dificultat, especialment durant l'alimentació en un sistema de gasificació o co-combustió. A més a més, la biomassa té més oxigen que hidrogen i carboni, fent que sigui menys adequat per processos de conversió termoquímica.

Per superar tots aquests desafiaments i fer de la biomassa adequada per aplicacions energètiques, el material ha de ser pretractat. Uns dels mètodes usats en el pretractament o preprocessament és moldre, que ajuda a aconseguir una mida de partícula consistent. Malgrat tot, trobem problemes quan hi ha humitat en la biomassa ja que limita l'acció dels molinets i també que el procés de mòlta pot ser molt costós quan es desitja mides petites de biomassa. L'alt contingut d'humitat també pot donar lloc a mida de partícules inconsistents (especialment quan les partícules són menors de 2 mm), les quals no poden reaccionar consistentment, reduint així l'eficiència i augmentant els costos del procés de conversió. A més, la biomassa original és tèrmicament inestable a causa de l'alta humitat, el que resulta en problemes com valor calorífic baix i una mida inconsistent de les partícules quan s'utilitzen en processos termoquímics com ara la gasificació. Això pot conduir a productes incompatibles i la formació de quitrans condensables, el que resulta en problemes de bloqueig del gas.

Una opció viable per resoldre aquests problemes és el pretractament de la biomassa. El pretractament ajuda a alterar les propietats físiques i la composició química de la biomassa i fa que sigui més adequada per a la conversió. El pretractament pot ser un procés químic, tèrmic o mecànic com

l'explosió de fibra de l'amoníac, la torrefacció i l'explosió de vapor, respectivament. Aquests processos de pretractament ajuden a canviar la regions amorfes i cristal·lines de la biomassa i porten canvis significatius en les composicions químiques i estructurals, com es pot veure a continuació a la **figura 3**.

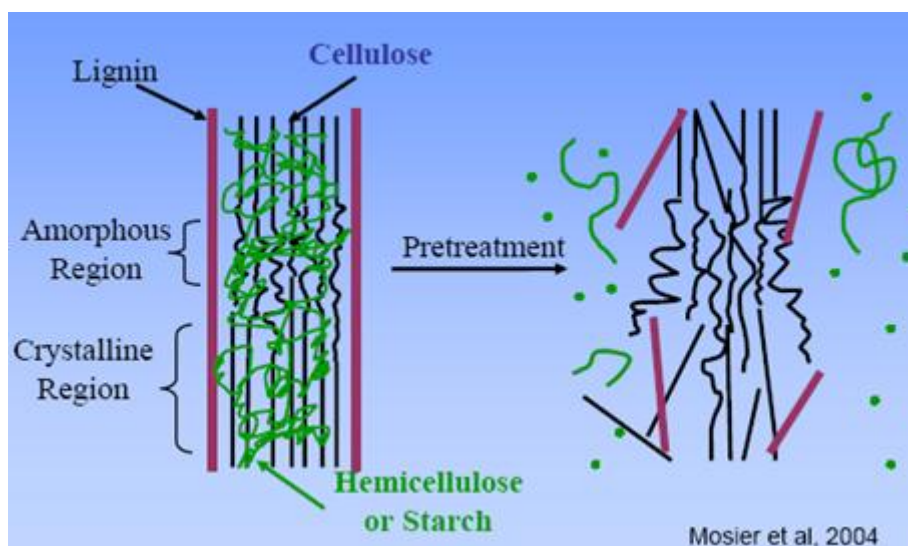


Figura 3. Efecte del pretractament en la biomassa lignocel·lulòsica **Font:** Tumuluru. J, Sokhansanj S, Hess J.R, Wright.C, and Boardman R. (2011) "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy Applications". Pag. 392.

Així doncs, la biomassa presenta certes limitacions però la majoria són superables amb la tecnologia i per tant s'ha de tenir en compte.

4.7 Aprofitament forestal

Depenent del tipus de biomassa que utilitzarem, serà necessari un procediment o altre per poder-la utilitzar en la central de processament de biomassa. Així doncs, és necessari contextualitzar quin tipus de biomassa utilitzarem per la nostra central de processament de biomassa.

En el cas de la utilització de la biomassa natural, és necessari una gestió per poder-la utilitzar, el que fa que depenent del preu de compra de l'estella sigui inviable econòmicament per la nostra central. Un altre tipus de biomassa que podem utilitzar, són els residus forestals que són aquells en que fem un aprofitament dels residus dels nostres boscos i formen una font molt important de recursos de la biomassa. Hi trobem les restes de les podes, serradures, encenalls, retalls i escorces, que es generen tant al camp com a les indústries on s'aprofita la fusta, que són les principals consumidores d'aquest recurs amb finalitats energètiques.

Per a la producció d'estella es poden aplicar diversos sistemes d'aprofitament forestal de la **biomassa forestal**, que es diferencien bàsicament pel lloc on es

realitza l'estellat. Aquesta operació es pot realitzar a peu de pista, a carregador o a la mateixa planta de generació d'energia o centres d'emmagatzematge. En funció d'on es porti a terme l'estellat la seqüència d'operacions variarà, tal com es mostra a continuació³.

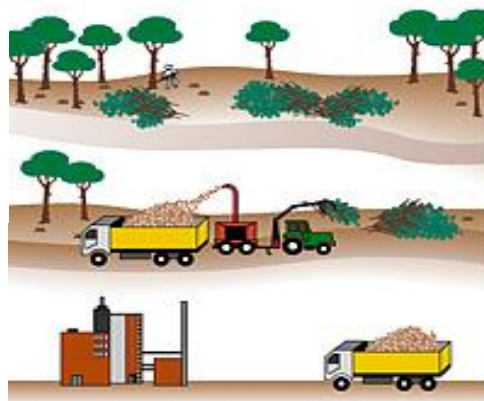
Sistema 1. Estellat a peu de pista³

Les operacions, que es recullen a la **figura 4**, són:

1. Tallada i arrossegament: s'efectua la tallada dels arbres, sense desbrancar ni despuntar, és a dir, reduint al màxim les tasques a realitzar a peu d'arbre. Per a la tallada es fa servir bàsicament la serra mecànica o processadora i l'arrossegament es fa mitjançant skidder o tractor amb cabrestant.
2. Estellat: l'estellat s'efectua a les pistes forestals on s'aplega la biomassa. L'estelladora ha de permetre una alta mobilitat per poder accedir a les diferents pistes forestals, ha de disposar de grua pròpia i d'un sistema logístic de desembosc consistent en un tractor amb remolc o un contenidor. La baixa productivitat d'aquest tipus d'estelladores amb alta mobilitat fa que els costos d'estellat siguin elevats.
3. Transport de l'estella: quan el remolc o el contenidor estan plens es desplacen fins al destí final. Aquest sistema pot ser interessant només en els casos en què la planta o magatzem estiguin a poca distància, ja que d'aquesta manera el vehicle que realitza el desembosc (tractor amb remolc o camió amb contenidor) pot fer també el transport fins a planta i no ha de traspasar el material a un altre mitjà de transport.

Figura 4. Estellat a peu de pista

Font: <http://observatoribiomassa.forestal.cat/>



Sistema 2. Estellat a carregador³

Les operacions, que es recullen a la **figura 5**, són:

1. Tallada i arrossegament: com en el cas anterior, s'efectua la tallada dels arbres amb serra mecànica o processadora, sense desbrancar ni despuntar. L'arrossegament es realitza amb skidder o tractor amb

³ Observatori de la Biomassa. <http://observatoribiomassa.forestal.cat/>

- cabrestant o, en funció de les condicions del terreny, amb autocarregador.
2. Desembosc: el desembosc de l'arbre sencer es fa amb autocarregador o tractor amb remolc fins al carregador. En funció de la distància també es pot fer amb skidder.
 3. Estellat: es realitza l'estellat a carregador, utilitzant una estelladora de menys mobilitat que la del sistema 1, però més pesant, robusta i de major potència, de manera que la productivitat també és major. Tot i que és necessari l'ús d'una maquinària addicional per al desembosc dels arbres, el major rendiment de l'estelladora hauria de compensar aquest cost.
 4. Transport de l'estella: A partir d'aquest punt, ja es carrega l'estella al mitjà de transport corresponent.

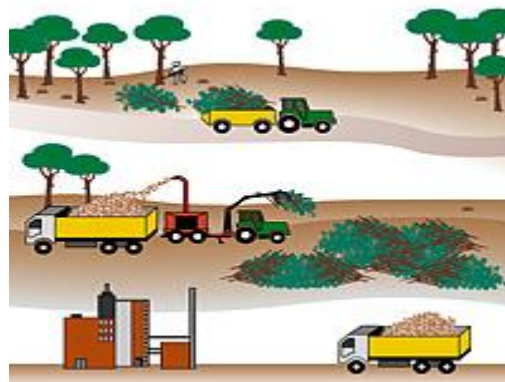


Figura 5. Estellat a carregador.

Font: <http://observatoribiomassa.forestal.cat/>

Sistema 3. Estellat de troncs a planta o magatzem³

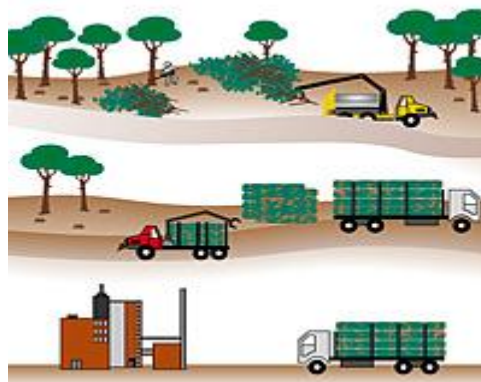
Les operacions, que es recullen a la **figura 6**, són:

1. Tallada, processament i arrossegament: en aquest cas, després de la tallada de l'arbre, aquest es despunta i es desbranca, i es trosseja el tronc només si és necessari per optimitzar el transport. Per a l'arrossegament fins a pista també es pot utilitzar el mateix tipus de maquinària que en els sistemes 2 i 3: skidder, tractor amb cabrestant o autocarregador sempre que les condicions del terreny ho permetin.
2. Transport dels troncs: Si les condicions del terreny i de les pistes ho permeten, un cop la fusta és arrossegada i apilada a vora del camí, es sol utilitzar un camió de 3 o 4 eixos que ja porta a terme directament el transport fins a la planta. En cas d'haver de portar la fusta fins a carregador, el desembosc es realitza mitjançant el mateix skidder, amb autocarregador o tractor amb remolc.
3. Estellat: un cop realitzat el transport de la fusta fins a planta o magatzem, aquesta es pot estellar directament, o bé emmagatzemar per després fer l'estellat de la fusta seca. L'estellat es realitza amb

estelladores fixes o semimòbils de gran potència, que tenen menys cost horari que les mòbils i permeten millors condicions de control de la qualitat d'estella.

Figura 6. Estellat de troncs a planta o magatzem.

Font: <http://observatoribiomassa.forestal.cat/>



Els costos d'aprofitament (€/t) varien bàsicament segons el lloc on s'estella la fusta i el sistema de desembosc. El cost d'estellat és superior quan aquest es realitza a peu de pista (sistema 1) donat que s'ha d'utilitzar una estelladora amb alta mobilitat que, per contra, té un rendiment més baix (menys productivitat). En el cas de l'estellat a carregador (sistema dos) s'hi ha d'afegir el cost del desembosc de l'arbre sencer que no és necessari per al primer sistema.

El sistema que comporta un cost més baix d'estellat és el que es fa a planta o centre d'emmagatzematge estellant troncs ja processats. En aquest cas es poden utilitzar estelladores fixes de gran potència i alt rendiment. De totes maneres, en aquest sistema es porta a terme el desbrancat dels arbres que fa augmentar considerablement el cost de la tallada.

Per poder valorar el cost total dels diferents sistemes és important també tenir en compte els costos de transport, que varien en funció de la distància i de si es transporta tronc o estella.

En definitiva, en el cas de la instal·lació d'una planta de processament de biomassa, l'opció més interessant seria el sistema 3 ja que potser és la més econòmica, al estalviar-te l'estellat per part d'una empresa independent. Malgrat tot, s'ha de tenir en compte en tots els sistemes, l'**espècie forestal** de la qual parlem. Si la fusta d'una espècie és més bona o té més valor calorífic, el seu preu augmentarà. Això que acabem de comentar ho podem trobar a la **taula 3**, adjuntada anteriorment.

4.8 Tractaments per a la biomassa

Un cop sabem els diferents tipus de biomassa, la seva composició i les seves característiques ara ens falta saber com transformar aquesta biomassa en energia.

Els diferents tipus de biomassa poden ser transformats en diferents productes líquids, sòlids o gasos susceptibles a ser emprats des del punt de vista energètic. Hi ha diferents tipus de tractaments de la biomassa:

1. Processos o tractaments termoquímics
2. Processos o tractaments bioquímics
3. Processos o tractaments físics

La **figura 7** recull tots el tipus de tractaments termoquímics, però val a dir que nosaltres ens centrarem amb el primer.

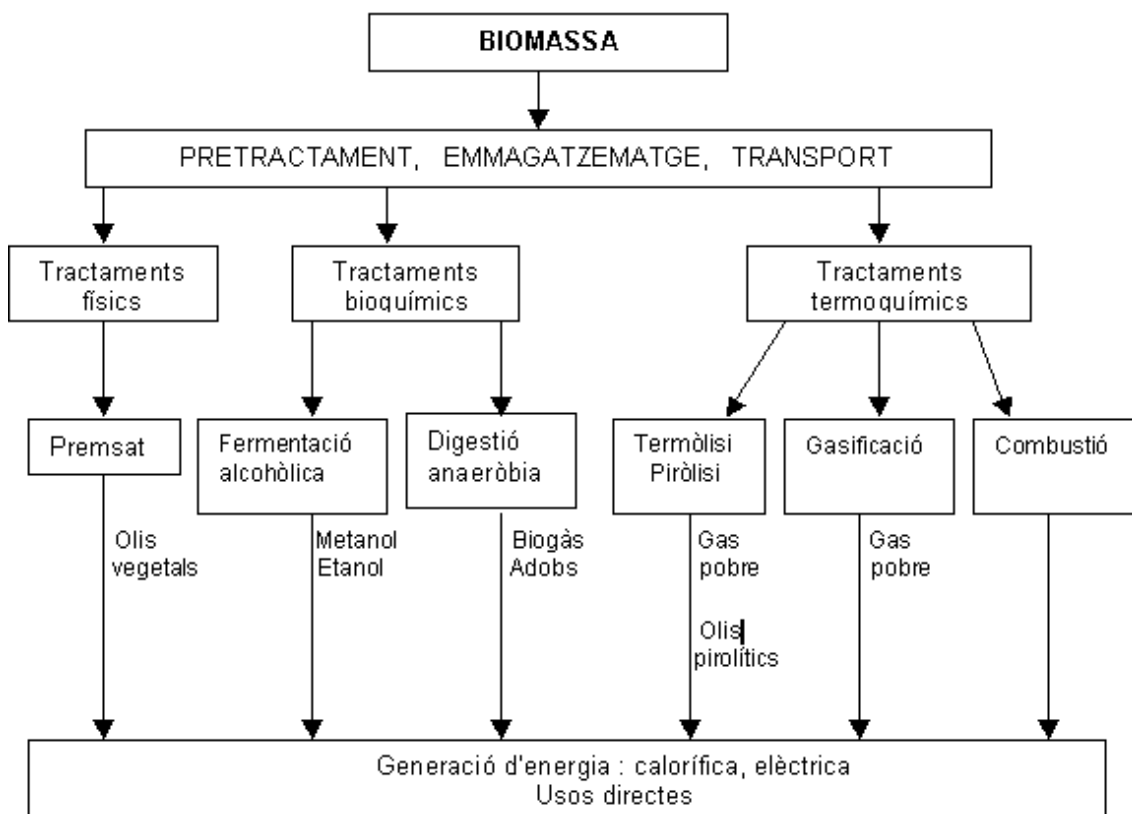


Figura 7. Diferents processos de transformació de la biomassa **Font:** www.coac.net

Els tractaments **termoquímics** són un tipus de tractaments basats en la descomposició de les cadenes orgàniques constituents de la matèria viva per mitjà de la calor aportada per una font energètica externa, per la combustió controlada d'una part de la pròpia biomassa o per algun dels subproductes obtinguts en la descomposició. La transformació es du a terme sota unes determinades condicions de pressió i temperatura per tal d'obtenir productes sòlids, líquids o gasosos més adequats a l'aplicació que es desitgi. Aquests productes seran diferents segons el tipus de tècnica aplicada, però

majoritàriament gasos amb poder calorífic, tot i que en algunes transformacions també s'obtenen sòlids.

Un dels tractaments termoquímics que es pot donar a la biomassa és el de la **piròlisi**, que consisteix en la descomposició tèrmica de la biomassa, per exemple la forestal, entre 450 i 600°C en absència d'aire o oxigen i a pressió atmosfèrica normal. És una reacció endotèrmica, és a dir, és necessari donar-li calor. Com a resultat s'obté una mescla que és en part sòlida (principalment carbó o també anomenat char o biochar), en part líquida (olis i destil·lats químics) i en part gasosa (H_2 , CO, CO_2 , N_2 i CH_4). Els líquids i els gasos són hidrocarburs i compostos alifàtics. Aquests productes poden ser utilitzats com a combustibles i matèries primeres. Com més alta és la temperatura del procés, més proporció de gasos i menys residus sòlids se n'obté.

La piròlisi de la biomassa presenta diferents avantatges, i un dels més importants és que es dona un tractament i aprofitament de la biomassa més ecològic, perquè no es produeix la combustió sinó que es realitza la descomposició i la fragmentació de la biomassa. Tanmateix gràcies a la reacció termoquímica és possible aprofitar al màxim el valor energètic de la biomassa. També comentar que la piròlisi de la biomassa no és exigent pel que fa a la qualitat el manteniment i la gestió de les matèries primeres que s'utilitzen i a més, pot treballar contínuament. La piròlisi també té la qualitat de treballar amb biomassa que conté major humitat relativa, fins un 60% i també la possibilitat d'utilitzar-ne de qualitat inferior, com l'escorça, les serradures...

Un altre tractament que es pot donar a la biomassa és el de la **gasificació**, que és un tractament molt semblant a la piròlisi, però en què la quantitat d'oxigen està controlada, amb la qual cosa es redueix significativament l'obtenció de sòlids respecte del procés anterior. Com a resultat s'obté un gas anomenat gas pobre que s'utilitza com a combustible. Aquest procés es dona entre una temperatura de 600 i 800°C i la quantitat d' O_2 és d'entre el 20-25%.

Segons si es fa servir aire o oxigen pur, s'obtenen dos productes diferents. Si es fa servir aire, s'obté gasogen o gas pobre que es pot utilitzar per obtenir electricitat i vapor. En el cas de l'oxigen pur, s'opera amb un gasificador amb oxigen i vapor d'aigua i s'obté gas de síntesi. La importància del gas de síntesi radica en que pot ser transformat en combustible líquid. Aquest tractament, com hem comentat prèviament, al tenir la quantitat d'oxigen controlada, redueix significativament l'obtenció de sòlids.

El procés de **combustió** consisteix en una oxidació (reacció exotèrmica) deguda a la presència d'oxigen sobrer (quantitat no controlada), que normalment s'aporta a través de l'aire que s'incorpora en excés a la reacció (l'excés de l'aire és del 140 al 160%) i s'obtenen gasos calents, que és la part que s'aprofita com a energia tèrmica. L'alta temperatura de treball va dels 800 als 1200°C.

Es tracta d'utilitzar directament la biomassa per a la producció de calor, ja sigui en processos industrials, en calefacció (l'exemple més antic és la llar de foc de les masies però també es pot cremar la biomassa en grans calderes), o bé produint vapor per a la generació d'energia elèctrica. En aquest procés es requereix una matèria prima amb una humitat inferior al 15%, d'un volum apte per a ser manipulat fàcilment, i una mínima capacitat calorífica. Això implica un procés previ a la combustió per tal d'adequar el material: assecar i fraccionar, estellar, moldre o cribar.

L'últim de tots, i que no apareix a la **figura 7** però que nosaltres en parlarem, és el tractament termoquímic de la **torrefacció**, que és un mètode de conversió tèrmica de pretractament de la biomassa en un rang de temperatura baix entre 200 i 300°C i una duració de més o menys una hora. Es dona en condicions atmosfèriques i en absència d'oxigen. En aquest procés, la biomassa és pretractada i es millora la composició química, física i bioquímica d'aquesta per produir un biocombustible sòlid de gran capacitat que pot ser emprat en la combustió i en la gasificació. El procés previ que comentàvem anteriorment per preparar el material abans de ser combustionat, pot ser, per exemple, la torrefacció.

A continuació, la **taula 6** que adjuntem, ens serveix per introduir de cara el següent apartat els productes (amb el seu percentatge corresponent) que generen els diferents processos que hem comentat anteriorment, com són la piròlisi, la gasificació, i la torrefacció. Dins de la piròlisi, podem observar la convencional (*intermediate*) i la ràpida (*fast*).

Taula 6. Productes generats per diferents processos termoquímics.

Mode	Conditions	Liquid	Solid	Gas
Fast	~500°C, short hot vapour residence time ~1s	75%	12% char	13%
Intermediate	~500°C, hot vapour residence time ~10-30s	50% in 2 phases	25% char	25%
Carbonisation (slow)	~400°C, long vapour residence hours = days	30%	35% char	35%
Gasification	~750-900°C	5%	10% char	85%
Torrefaction (slow)	~290°C, solids residence time ~10-60 min	0% unless condensed, then up to 5%	80% solid	20%

Font: Bridgwater, A. V. (2012). "Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading." *Biomass and Bioenergy* 38(0): 68-94.

5. Piròlisi

La piròlisi és la descomposició tèrmica dels matèria orgànica en l'absència d'oxigen o quan l'oxigen està present significativament en menor quantitat que el requerit per la combustió completa. És important diferenciar la piròlisi de la gasificació. En la gasificació es descomposa biomassa en gas de síntesi mitjançant el control acurat de la quantitat d'oxigen present. Els principals productes de la piròlisi, en canvi, són el gas, els líquids com el bio-oil/greix i el char o biochar, amb flexibilitat per variar la quantitat bio-oil, gas i char.

El gas de piròlisi inclou CO_2 , CO , H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 ...els líquids inclouen quitrans, hidrocarburs d'alt pes molecular i aigua i finalment tenim char. El contingut d'energia del gas de piròlisi, bio-oil i char són aproximadament 6, 18 i 36 GJ/tona, respectivament. La piròlisi del petroli té aproximadament la meitat del contingut d'energia del petroli cru. Hi ha establertes instal·lacions comercials de char centrades en aplicacions d'alt valor metal·lúrgic, amb altes entrades de biomassa de qualitat, com estelles d'eucaliptus, amb capacitats de prop de 35.000 tones de char per any. Aquest règim d'alt cost no és generalment expandible per a la indústria de la bioenergia emergent.

Els canvis generals que es produeixen durant la piròlisi s'enumeren a continuació:

- (1) La transferència de calor des d'una font de calor, per augmentar la temperatura a l'interior del combustible;
- (2) La iniciació de reaccions de piròlisi primària en la major temperatura allibera volàtils i formes de char;
- (3) El flux de volàtils calents cap a sòlids més freds resulta en transferència de calor entre els volàtils calents i el combustible fred sense haver estat pirolitzat;
- (4) La condensació d'alguns dels compostos volàtils en les parts més fredes del combustible, seguit per reaccions secundàries, pot produir quitrà;
- (5) Reaccions autocatalítiques secundàries de piròlisi continuen mentre les reaccions pirolítiques primàries (punt 2, més amunt) es produeixen simultàniament en competència, i
- (6) Més descomposició tèrmica, reformes, reaccions de desplaçament del gas d'aigua, recombinació radicals i deshidratacions també poden ocórrer, que són una funció del temps de residència, de la temperatura i de pressió de perfil del procés.

En les últimes dues dècades, la investigació fonamental en la piròlisi ràpida o piròlisi flash s'ha demostrat que els alts rendiments primaris, líquids i gasos

sense equilibri, incloent productes químics valuosos, productes químics intermedis, productes petroquímics i combustibles, podrien ser obtinguts a partir de matèries primeres carbonoses. Així doncs, el valor més baix del char sòlid obtingut en la piròlisi lenta tradicional pot ser reemplaçat per un gas combustible, un combustible oleic o productes químics de major valor provinents de piròlisi ràpida.

Les característiques dels productes de la piròlisi de la fusta depenen de si la fusta que s'utilitza en la piròlisi és fusta dura o fusta tova. El terme "Hardwood" (fusta dura) és un terme bastant imprecís que identifica l'àmplia classe de les Angiospermes. El terme "softwood" (fusta tova) identifica la classe de les Gimnospermes. Els termes fusta dura i fusta tova poden ser enganyosos, ja que tenen poca relació amb la duresa de la fusta.

5.1 Tipus de Piròlisi

Els processos de piròlisi⁴ poden ser la piròlisi convencional o ràpida, depenent de les condicions de funcionament que s'utilitzen. La piròlisi convencional també pot ser anomenada piròlisi lenta. Els termes "piròlisi lenta" i "piròlisi ràpida" són una mica arbitraris i no tenen una definició precisa dels temps o les velocitats d'escalfament involucrades en cada una. Diferents piròlisis s'han realitzat a diverses taxes que no es consideren ni ràpid o lent, però es duen a terme en un ampli rang entre aquests dos extrems. Estudis termogravimètrics (TG) i estudis diferencials de TG de farina de fusta d'una fageda il·lustren que la descomposició de la fusta comença aproximadament a una temperatura de 200°C, assolint una taxa màxima de pèrdua de massa a 350°C, i seguit fins als 500°C, mostrant les complexes contribucions de tots els constituents químics.

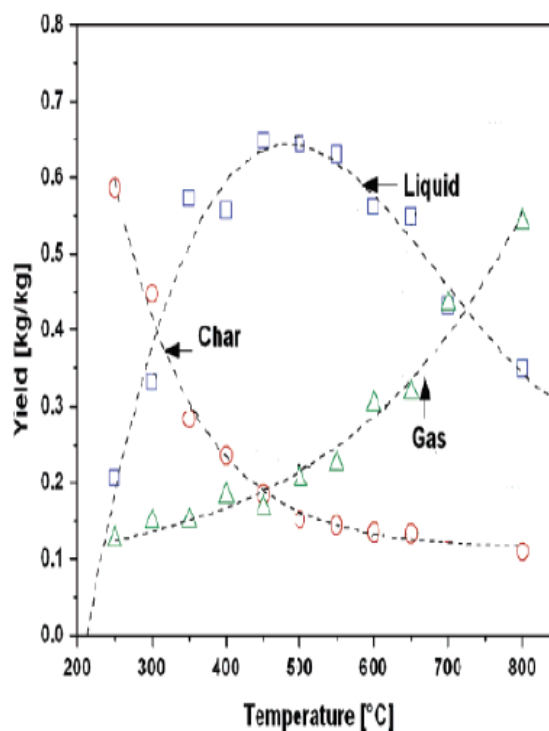
En la figura 8 que es mostra a continuació s'obtenen els percentatges d'obtenció dels diferents productes i a quina temperatura aproximada es donen. Com podem observar en el cas del bio-oli s'obté un 65% d'aquest producte a una temperatura de 500°C. En canvi de biochar s'obté el punt màxim a un 250-300°C obtenint-se aproximadament un 65% de producte. Ja per acabar s'obté un 55% de gas pirolític quan la temperatura és d'uns 800°C. Així doncs, com a conclusió podem afirmar que la temperatura i la duració del procés són les que determinen el tipus de producte que obtindrem. Aquesta afirmació la podem veure reflectida en la figura 8 que adjuntem a continuació, on es mostra el percentatge dels diferents productes segons la temperatura del reactor. Per exemple, podem veure que quan menys temperatura assolida al reactor, el percentatge de producte sòlid (char) és més elevat i en canvi, quan més

⁴ Mohan, D; Pittman, C.U; Steele, P.H. (2006) *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review*.

temperatura assoleix el reactor, més percentatge de producte líquid (bio-oli) i gas tenim.

Figura 8. Percentatges d'obtenció de bio-oli (líquid), carbó (char) y gasos (gas) que s'obtenen en una planta de tractament tèrmic de la biomassa en funció de la temperatura assolida en el reactor.

Font: -



5.1.1 Piròlisi Convencional o Piròlisi lenta

La piròlisi convencional o lenta s'ha aplicat des de fa milers d'anys i ha estat principalment utilitzada per a la producció de carbó vegetal (anomenat char o biochar). En la piròlisi lenta de la fusta, la biomassa s'escalfa aproximadament fins 500°C. El temps de residència del vapor varia de 5 minuts a 30 min. Els vapors no s'escapen tan ràpidament com ho fan en la piròlisi ràpida. Així, els components en la fase de vapor continuen reaccionant l'un amb l'altre, ja que el char sòlid (carbó) i líquid ja han estat formats. La velocitat d'escalfament en la piròlisi convencional és típicament molt més lenta que la utilitzada en la piròlisi ràpida. La matèria primera pot mantenir-se a temperatura constant o pot ser lentament escalfada. Els vapors es poden retirar contínuament a mesura que es formen. La piròlisi al buit a velocitats d'escalfament lent o ràpid és una altra variant. La definició d'un tipus de taxa d'escalfament "lent" en comparació amb una de "ràpida" és arbitrària en molts aspectes. La piròlisi lenta o convencional augmenta el rendiment del char i les temperatures de processament més baixes i temps de residència més llargs dels sòlids també afavoreixen la producció de char. En la **figura 9** es pot veure gràficament els productes principals que genera la piròlisi, com són el biochar o char i el bio-oli. En el cas actual de piròlisi convencional, el producte més abundant serà el char.

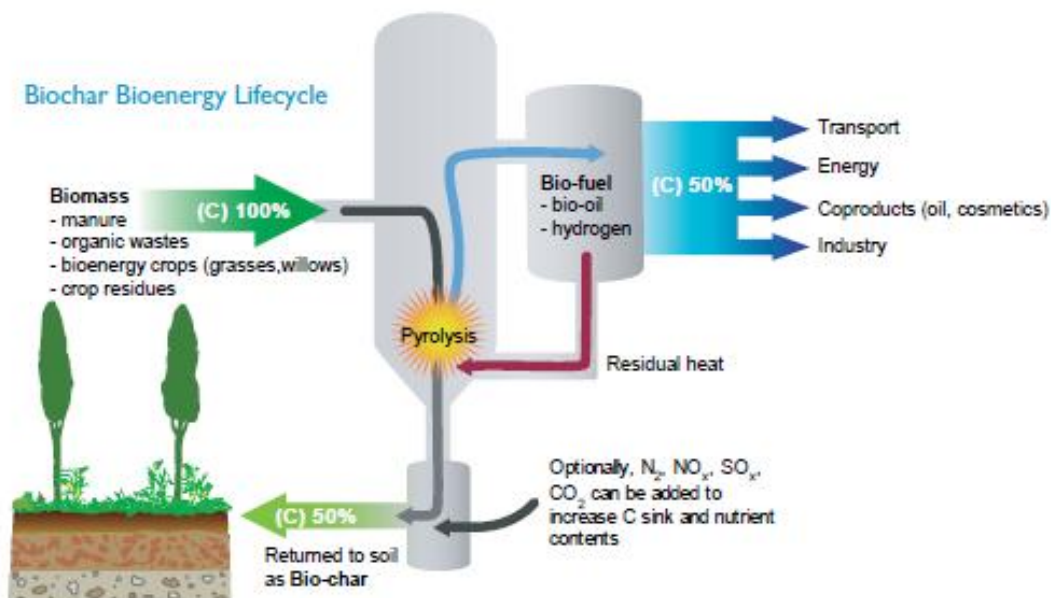


Figura 9. Piròlisi de baixa temperatura Font: Lehmann, J. 2007 *Bio-energy in the Black*. Pg 382

5.1.2 Piròlisi ràpida

La piròlisi ràpida és un procés d'alta temperatura en el qual la biomassa s'escalfa ràpidament en absència d'oxigen. La biomassa es descompon per generar vapors, aerosols, i una mica de carbó com el char. Després del refredament i la condensació dels vapors i aerosols, un líquid de color fosc-marronós mòbil es forma, el qual té un valor d'escalfament que és aproximadament la meitat del de fuel oil convencional. El procés de piròlisi ràpida produeix 60-75% en pes de bio-oli líquid, 15-25% en pes de char sòlid, i 10-20% en pes dels gasos no condensables, tot això depenent de la matèria primera utilitzada. No es generen residus, ja que el bio-oli i el char sòlid poden ser utilitzats com a combustible i el gas pot ser reciclat de nou en el procés. L'avantatge de la piròlisi ràpida és que es pot produir directament un líquid combustible, que és beneficiós quan els recursos de biomassa són remots on l'energia és necessària, ja que el líquid pot ser fàcilment emmagatzemat i transportat.

La piròlisi ràpida utilitza taxes d'escalfament molt més ràpides que els tradicionals ritmes d'escalfament de la piròlisi convencional. Processos avançats es controlen acuradament per donar alts rendiments de líquids. Hi ha quatre característiques essencials d'una piròlisi ràpida. En primer lloc, s'utilitzen unes taxes d'escalfament i transferència de calor, que en general, requereixen una biomassa finament mòlta com a alimentació. En segon lloc, es controla de manera exhaustiva la temperatura de la reacció de piròlisi, oscil·lant entre 425 i 500°C. Tercerament, s'utilitzen temps de residència curts en el vapor (típicament < 2s) i finalment i en quart lloc els vapors i aerosols de la piròlisi es

refreden ràpidament per donar bio-oli. Així doncs i com a conclusió, la piròlisi ràpida (o flash) augmenta la fracció líquida i les temperatures moderades i els curts temps de residència del vapor promouen la formació de bio-oli i quitrans.

Les taxes d'escalfament de 1.000°C/s, o fins i tot 10.000° C/s, i temperatures per sota aprox. 650°C s'han aconseguit en diversos experiments. L'escalfament ràpid i el posterior refredament ràpid produeix els productes líquids pirolítics intermedis, que es condensen abans de que es trenquin altres reaccions d'espècies de major pes molecular a productes gasosos. Les altes velocitats de reacció minimitzen la formació de char i sota algunes condicions, no se'n forma. Així doncs, a majors temperatures de piròlisi ràpida, el producte principal és el gas. Les altes temperatures i els llargs temps de residència del vapor augmenten la conversió a gas.

Diferents autors estimen que més de 200 productes intermedis es formen durant la piròlisi de la biomassa. La cel·lulosa és el principal constituent de la fusta, i la seva piròlisi es produeix en gairebé tota la gamma temperatures de la piròlisi.

5.2 Bio-oli

Com hem comentat anteriorment i observant la **taula 6** es pot observar que el producte més important de la piròlisi ràpida o flash amb un 75% del producte és el bio-oli.

Figura 10. Imatge del Bio-oli

Font:

<http://www.case.dtu.dk/English/Research/Direct%20biomass%20conversion%20to%20fuels.aspx>



Els bio-oils o olis biològics, també coneguts sota amb noms d'olis de piròlisi, líquids de piròlisi, i altres, són en general de color marró fosc, líquids de flux lliure amb una olor característica. Els bio-olis són mescles de multicomponents compostes per molècules de diferent mida derivades principalment de les reaccions de despolimerització i de fragmentació de tres blocs claus que constitueixen la biomassa com són la cel·lulosa, l'hemicel·lulosa i la lignina. Per tant, la composició elemental de bio-oli s'assembla a la de biomassa enlloc a la del petroli.

5.2.1 Propietats dels bio-oils

Els olis pirolítics tenen diferents propietats⁵ que els fan característics:

- **Contingut d'oxigen:** El contingut d'oxigen dels bio-oils és generalment 35-40% en pes. Aquest oxigen està present en la major part dels més de 300 compostos que han estat identificats en els olis. La distribució d'aquests compostos depèn en la seva majoria del tipus de biomassa utilitzada i en el la duresa del procés (temperatura, temps de residència i la velocitat d'escalfament). Un augment en la duresa de la piròlisi redueix el rendiment del líquid orgànic a causa de l'esquerdament dels vapors i la formació de gasos, però deixa el líquid orgànic amb menys oxigen. El component més abundant del bio-oli és l'aigua. Els altres grups principals de compostos identificats són els hidroxialdehíds, les hidroxicetonas, els sucres, els àcids carboxílics i per acabar els compostos fenòlics.

La presència d'oxigen en molts dels components del fuel és la raó principal per les diferències en les propietats i la conducta entre els hidrocarburs i els olis pirolítics de la biomassa. L'alt contingut d'oxigen resulta en una baixa densitat energètica (valor d'escalfament) que és menys del 50% per als olis combustibles convencionals i immiscibilitat per els hidrocarburs. Una conseqüència encara més important de la presència d'oxigen orgànic és la inestabilitat de bio-oli.

Donada la seva inestabilitat, no és possible destil·lar el bio-oli, però pot ser utilitzat directament com una alternativa al dièsel i altres fueloils. Com acabem de comentar, el valor d'escalfament del bio-oli és d'aproximadament 50% de la del fueloil derivat del petroli convencional, requerint ajustaments en la velocitat d'alimentació del combustible.

- **Contingut d'aigua:** L'aigua en olis biològics resulta de la humitat original de la matèria primera i com un producte de les reaccions de deshidratació que es produeixen durant la piròlisi. Així doncs, el contingut d'aigua varia en un ampli interval (15-30%) en funció de la matèria primera i les condicions del procés. La presència d'aigua té efectes tant negatius com positius sobre les propietats de l'oli pirolíctic. L'aigua disminueix el seu valor d'escalfament, especialment el LHV (*lower heating value*) i la temperatura d'ignició. També contribueix a l'augment del retard en l'encesa i en alguns casos a la disminució de la taxa de combustió en comparació amb els combustibles dièsel. D'altra banda, l'aigua millora les característiques de flux del bio-oli (redueix la viscositat de l'oli), que és beneficiosa per la combustió (bombament i atomització). També condueix a un perfil de temperatura més uniforme en el cilindre d'un motor dièsel i per reduir les emissions de NOx.

⁵ Czernik, S; Bridgwater, A. V. (2004) *Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oil*.

- Distribució de la volatilitat: Degut a la seva composició química, els olis biològics mostren una gamma molt àmplia de temperatura d'ebullició. A més d'aigua i compostos orgànics volàtils, els olis pirolítics de la biomassa contenen bastantes quantitats de materials no volàtils com ara els sucres i els compostos fenòlics oligomètrics. A més, l'escalfament lent de els olis durant la destil·lació resulta en la polimerització d'alguns components reactius. Conseqüentment, els bio-olis comencen el procés d'ebullició per sota de 100°C, però la destil·lació s'atura a 250-280°C, deixant 35-50% del material inicial com a residu. Així, els olis biològics no es poden utilitzar per a aplicacions que requereix la completa evaporació abans de la combustió.

- Viscositat i Envelliment: La viscositat dels bio-olis pot variar en un ampli interval (35-1000 cP a 40°C) depenent de les condicions de la matèria primera i els processos, i especialment en l'eficiència de la recollida de components de baix punt d'ebullició. La viscositat dels olis biològics disminueix a majors temperatures molt més ràpid que per olis derivats del petroli, de manera que fins i tot els biooils molt viscosos poden ser fàcilment bombejats després d'un preescalfament moderat.

Una reducció significativa de la viscositat també es pot aconseguir mitjançant l'addició de dissolvents polars com ara metanol o acetona. Un efecte no desitjat, es dona quan els olis s'emmagatzemen o es manegen en una temperatura més alta, i la viscositat augmenta amb el temps. Es creu que això és el resultat de reaccions químiques entre diversos compostos presents en l'oli, el que condueix a la formació de molècules més grans. També hi ha proves de la reacció amb oxigen de l'aire.

- Corrosivitat: Els bio-oils contenen quantitats substancials d'àcids orgànics, àcids acètic i fòrmic en la seva majoria, les quals dona com a resultat un pH de 2-3. Per això, els olis són corrosius per als materials de construcció comuns, com ara l'acer al carboni i alumini i pot afectar alguns materials de segellat. La corrosivitat és especialment greu a temperatura elevada i amb l'augment en el contingut d'aigua. Els olis són essencialment no corrosius per acers inoxidable. Les poliolefines són normalment un material acceptable de construcció quan les circumstàncies ho permeten.

- Comportament en la combustió: Aquestes propietats tenen un impacte important en el comportament dels olis biològics durant la combustió i conseqüentment en les aplicacions de producció d'energia en equipaments estàndards. Els bio-olis són combustibles però no inflamables; això és degut a l'alt contingut de components no volàtils i a més el bio-oil requereix una bona quantia d'energia per l'ignició, però un cop encès, es crema amb una flama estable i autosostenible.

5.2.2 Aplicacions dels bio-olis⁶

Un cop explicat les propietats dels olis pirolítics podem determinar les diferents aplicacions que poden tenir:

1. Com a combustible

En les últimes dues dècades hi ha hagut un creixent interès en l'ús de combustibles derivats de la biomassa. Inicialment aquest interès va ser impulsat per les preocupacions per la possible escassetat del petroli cru, però en els últims anys les avantatges ecològiques de la biomassa com a combustible s'ha convertit en un factor encara més important. Els combustibles de biomassa es poden considerar essencialment neutrals pel que fa al CO₂ i tenen un contingut de sofre molt baix en comparació amb els combustibles fòssils. A més, al ser un líquid, el bio-oli pot ser fàcilment transportat i emmagatzemat. No obstant això, les propietats del bio-oli també resulten en diversos problemes significatius durant el seu ús com a combustible en els equipaments estàndards com ara les calderes, els motors i les turbines de gas construïts, tots ells, per la combustió de combustibles derivats del petroli. Característiques com la pobre volatilitat, una alta viscositat, la coquitació (es forma coc, semblant al quitrà) i corrosivitat són probablement, les característiques més desafiantes i fins ara, han limitat el rang d'aplicacions del bio-oli. A més, l'oli biològic encara no és un producte comercial i no té la qualitat estàndard necessària per a l'aplicació comercial.

La variabilitat de la seva composició a causa de diferents matèries primeres, a diferents configuracions del reactor i sistemes de recuperació, dona com a resultat diferències en les propietats físiques i químiques, així com el comportament de la combustió que fa encara més difícil aplicacions a gran escala. De totes maneres, comparat als combustibles tradicionals de biomassa, com ara el licor negre o el combustible HOG, el bio-oli presenta una oportunitat molt millor per l'alta eficiència de producció d'energia i a més, s'ha dedicat un gran esforç a la investigació i el desenvolupament dirigit a l'aplicació del bio-oli per a la generació de calor i energia i per a l'ús com a combustible pel transport.

2. Aplicacions del bio-oli per produir substàncies químiques

Durant molts segles, els líquids de piròlisi provinents de la fusta van ser una font important de productes químics com ara el metanol, l'àcid acètic, la trementina, els quitrans, etc. En l'actualitat, la majoria d'aquests compostos poden ser produïts a un cost menor a d'altres matèries primeres derivades del gas natural, el petroli o el carbó. Al voltant de 300 compostos han estat

⁶ Czernik, S; Bridgwater, A. V. (2004) *Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oil*.

identificats en l'oli pirolític de la piròlisi ràpida de la fusta, on les quantitats són petites i l'aïllament dels compostos específics individuals rares vegades és pràctic o econòmic, ja que en general requereix la separació mitjançant tècniques complexes. Per tant, el desenvolupament de tecnologies per a la producció de productes provinents de la totalitat del bio-oli o de seves fraccions principals separables, el qual és relativament fàcil, són els camps més avançats.

- Productes químics produïts per tot el bio-oli: Tot el bio-oli es pot convertir en productes químics útils traient profit i aprofitant els seus grups funcionals més abundants: el carbonil, el carboxil i els grups fenòlics i fer-los reaccionar de tal manera que la part no reactiva del bio-oli no hauria de ser separada del producte final. Per exemple, àcids carboxílics i fenols poden reaccionar amb facilitat amb la calç per formar sals de calci i fenats. Basat en aquesta propietat, la Corporació Dynamotive va desenvolupar un producte, el BioLime, que va tenir èxit en la captura de les emissions de SO_x provinent de cambres de combustió de carbó. El BioLime, que normalment conté un 50% d'aigua i entre un 7 i 14% de calci en pes, s'injecta com a suspensió líquida en un corrent de gas de combustió a alta temperatura. En comparació amb la calç, els compostos orgànics de calci són prop de quatre vegades més eficients en la captura de gasos àcids. Amb un ràtio apropiat de calci a sulfur, el BioLime pot extreure entre el 90-98% de SO_x dels gasos de combustió. Una altre avantatge del BioLime és l'oxidació de la part orgànica, la part derivada del bio-oli que proporciona energia addicional a la cambra de combustió. D'altra banda, alguns components del BioLime han demostrat ser eficaços en la destrucció dels òxids de nitrogen. Encara que la tecnologia per produir BioLime està ben desenvolupada, la disponibilitat de calç de baix cost dificulta la seva comercialització.

Una altra aplicació prometedora de la totalitat del bio-oli és el seu alt contingut de grups carbonil. En reaccionar bio-oli amb l'amoníac, la urea o un altre -NH₂, es formen enllaços imida i amida entre els carbonis del carbonil i el nitrogen. D'aquesta manera al voltant del 10% de nitrogen es pot incorporar a una matriu orgànica que ha demostrat tenir propietats d'un eficient biodegradable d'alliberament lent de fertilitzants nitrogenats. Comparat als fertilitzants minerals, el producte té una menor lixiviació, el que es tradueix en menys contaminació de les aigües subterrànies. A més, és un bon material per a condicionament de sòls contenint la matèria de tipus húmic (lignina). L'aplicació d'aquest fertilitzant retorna el carboni al sòl i pot ser també considerat com un mètode de captura de carboni. Típics fertilitzants nitrogenats d'alliberament controlat es venen per \$250 - \$1250 la tona, de manera que els fertilitzants basats en bio-oli han tenir un preu competitiu en el mercat.

A més de les aplicacions anteriors, tot el bio-oli s'ha proposat recentment pel seu ús com una alternativa de conservació de la fusta que podria reemplaçar la creosota*. Alguns compostos terpenoides i fenòlics presents en el bio-oli són coneguts per actuar com a insecticides i fungicides. Va ser demostrat que la impregnació amb bio-oli protegeix la fusta dels fongs; malgrat tot, l'eficàcia de l'acció del bio-oli no és de llarga durada. Quan la retenció del bio-oil en la fusta es millori, ja sigui tot el líquid o una fracció, podria ser utilitzat com un conservant de la fusta en el medi ambient.

*La creosota és un compost químic derivat del fraccionament de quitrans procedents de la destil·lació de carbons grassos (hulla) preferentment a temperatures compreses entre 900 i 1200°C. El fraccionament esmentat es realitza entre 180°C i 400°C. La principal propietat són les seves qualitats biocides per als agents causants del deteriorament de la fusta, la qual es protegeix impregnant amb el producte mitjançant el procés que habitualment es realitza en un autoclau i que s'anomena creosotatge. Després de quedar provat el seu potencial cancerígen, la Unió Europea va prohibir la comercialització i ús de la creosota com a conservant de la fusta.

- Productes químics produïts per el fraccionament del bio-oli: El Bio-oli pot ser fàcilment separat en dues fraccions basat en la solubilitat en aigua. Mitjançant la fàcil addició d'aigua al bio-oli, una fracció viscosa derivada principalment de lignina oligomèrica s'assenta a la part inferior mentre que l'aigua soluble, sobretot compostos d'hidrat de carboni derivats, formen una capa superior. Encara que altres mètodes de fraccionament de dissolvents també s'han desenvolupat, especialment per millorar la puresa del material derivat de la lignina, l'addició d'aigua sembla ser la opció preferida.

- Productes químics específics del bio-oli: Com s'ha esmentat anteriorment, la producció de substàncies químiques específiques provinents del bio-oli és possible, però a causa de la complexitat de les tècniques de separació no ha estat desenvolupat a major escala, amb excepció dels líquids de piròlisi lenta on la producció d'alguns productes químics específics és viable per empreses com Chemviron a Alemanya, i fins el 2002, Usine Lambiotte a França.

5.3 Biochar o Char

El que distingeix la piròlisi de formes alternatives de conversió de biomassa a energia és que la piròlisi produeix un subproducte sòlid ric en carboni, el biochar. El biochar és el residu de la piròlisi i s'utilitza sovint de pre-matèria primera de biomassa seca, o és venut en forma de briquetes de carbó⁷.

⁷ Lehmann, J. (2007) *Bio-energy in the Black*.

Figura 11. Imatge del Biochar.

Font: http://novotera.ca/?page_id=10



Un nou enfocament és explorar el valor d'aquest subproducte **quan s'afegeix a terra**. Dos aspectes del biochar que el fan valuós per a aquest propòsit: (1) la seva alta estabilitat contra el decaïment/decadència i (2) la seva capacitat superior per retenir nutrients en comparació amb altres formes de matèria orgànica del sòl. Tres beneficis ambientals sorgeixen d'aquestes propietats: (1) la mitigació del canvi climàtic, (2) millora dels sòls, i (3) la reducció de la contaminació ambiental. També, però té límits importants que inclouen els períodes de temps llargs i les condicions específiques requerides pel biochar per esdevenir un adsorbent eficient⁴.

5.3.1 Propietats del biochar⁴

1. Estabilitat

Durant molt temps el biochar s'ha utilitzat per datar dipòsits arqueològics amb el fi de quantificar el decaïment del carboni-14, ja que el biochar i d'altres tipus (carbonis negres més aromàtics) persisteixen en el medi ambient per davant de qualsevol altra forma de carboni orgànic. El biochar roman en sòls en climes tropicals humits, com ara l'Amazones, des de fa milers d'anys, resistint-se a les ràpides taxes de mineralització comú a la matèria orgànica en aquests entorns i la producció d'un color distintiu negre. Així doncs, el biochar és més gran que qualsevol altra forma de carbó en sòls. Malgrat aquest alt nivell de resistència, sabem que a la llarga el biochar serà mineralitzat a CO₂ i, en cas contrari, la matèria orgànica del sòl estarà dominat pel biochar acumulat al llarg de les escales de temps geològiques. No se sap massa informació sobre la vida mitjana del biochar per dues raons: en primer lloc, l'obstinació del biochar depèn en gran mesura d'una multitud de factors, incloent el tipus de biomassa utilitzada en la piròlisi, les condicions de producció, les propietats del sòl i el clima. Alguns biochars es poden descompondre relativament ràpid a terra, mentre que altres persisteixen durant mil·lennis, de manera que es necessita més informació sobre el comportament dels biochars al sòl. En segon lloc, la quantificació d'estabilitat a llarg termini requereix d'observacions a llarg termini, superant els períodes factibles en experiments tradicionals.

2. Retenció de Nutrients

Els nutrients són retinguts al sòl i romanen disponibles per les plantes principalment per l'adsorció de minerals i matèria orgànica. Tot i que normalment no és possible canviar la mineralogia d'un sòl donat, el que si es pot és canviar la quantitat de matèria orgànica d'aquest. Típicament, la capacitat del sòl per retenir cations, (Capacitat d'intercanvi catiònic [CIC]) i per tant disponible per les plantes augmenta en proporció a la quantitat de matèria orgànica del sòl, i això també es dona en el biochar. No obstant això, el biochar té una major capacitat que la matèria orgànica d'altres sòls per absorbir cations per unitat de carboni, degut la seva major àrea en la superfície, una major càrrega negativa a la superfície i una major densitat de càrrega.

En contrast amb la matèria orgànica al sòl, el biochar també és capaç d'absorbir fosfat fortament, tot i que és un anió, encara que el mecanisme per aquest procés no s'entén completament. Aquestes propietats fan del biochar una substància única, d'intercanvi i de retenció i per tant de disponibilitat de nutrients per les plantes en el sòl, i que ofereixen la possibilitat de la millora dels rendiments dels cultius mentre que disminueix la pol·lució ambiental per nutrients.

5.3.2 Aplicacions del biochar

Beneficis ambientals

1. Lluita contra el canvi climàtic

L'efecte més directe de la combinació de piròlisi amb l'aplicació del biochar al sòl és una retirada neta de CO₂ de l'atmosfera. El diòxid de carboni és assimilat per les plantes mitjançant la fotosíntesi, i posteriorment pirolitzat, produint energia des dels gasos capturats mentre que el residu, el biochar, es reté i s'emmagatzema posteriorment a terra. Si nou CO₂ és fixat per les plantes, l'enterrament del biochar fa que es converteixi en un embornal net de carboni. La proporció de carboni retinguda al biochar durant la piròlisi varia tant amb la temperatura de piròlisi i amb el tipus de matèria primera.

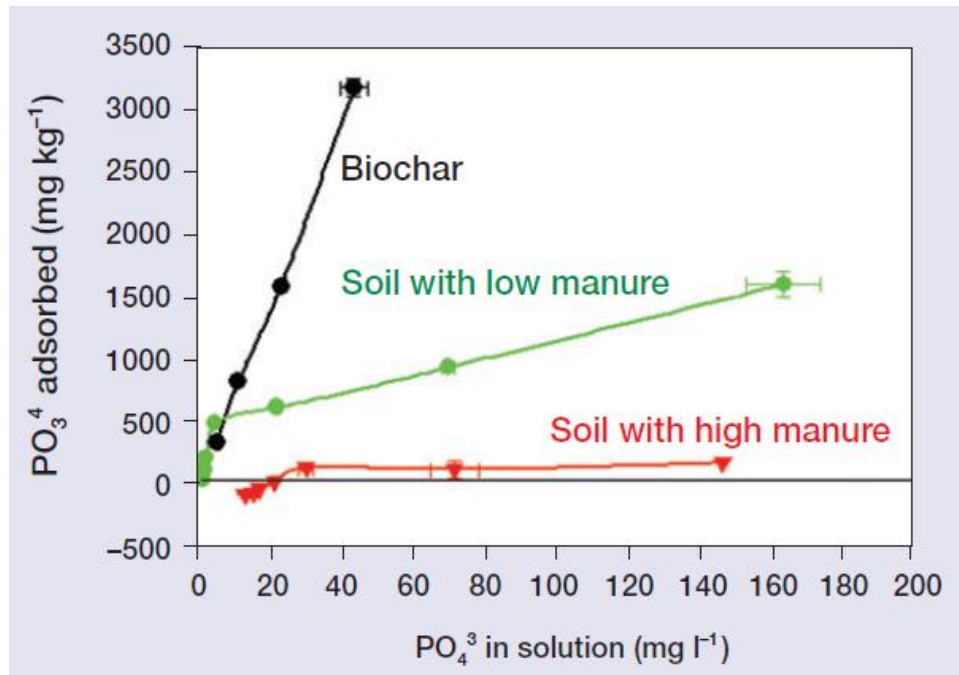


Figura 12. Adsorció del fòsfor a biochar produïda per la *Robinia pseudoacacia* L a 350°C en 16h **Font:** Lehmann, J. (2007) *Bio-energy in the Black*. Pg 384

Dins de la gamma de temperatures adequades per a la producció d'energia a través de piròlisi són d'aproximadament entre 400-550°C, els efectes de les quals són insignificants en comparació amb els efectes de diferents tipus de matèries primeres, el que canvia la recuperació inicial de carboni de 39 a 64%.

Un nivell possible de recuperació de carboni bastant típic és al voltant del 50%. La raó que aquesta recuperació és relativament alta (62% per exemple de la **Figura 12**) rau en el fet que la concentració de carboni augmenta a partir de la fusta original (que conté 45% de carboni) a biochar (que conté aproximadament 85% de carboni; a 700°C en l'exemple que es mostra a la **Figura 12**). Com s'ha dit, el biochar no és inert i eventualment es descompon i allibera CO_2 . No obstant això, l'escala de temps sobre el qual això passa és molt llarg en comparació amb altres formes de carboni orgànic al sòl. La quantitat total de carboni que pot ser emmagatzemada no és limitada per les propietats del sòl com ara el contingut d'argila i mineralogia, com és típic per altres matèries orgàniques al sòl.

Una porció de biochar pot ser mineralitzada molt ràpidament. La magnitud d'aquesta mineralització necessita ser millor compresa, ja que les oportunitats existeixen per reduir, però no evitar, la pèrdua d'aquestes. Els resultats preliminars indiquen que la bioenergia del biochar no només condueix a un segrest net de CO_2 , sinó que la presència d'aquest al sòl pot reduir les emissions de fins i tot dos gasos més potents d'efecte hivernacle, com són l'òxid nítric (NO_x) i metà. En experiments d'efecte hivernacle, les emissions de NO_x es van reduir en un 80% i les emissions de metà eren completament

suprimides amb addicions de biochar de 20 g kg⁻¹ a un farratge d'herba com a suport. La raó de les reduccions en les emissions de metà i de NOx no és conegut. La nitrificació més baixa és un mecanisme potencial, possiblement a causa d'una menor mineralització resultant d'un major ràtio C:N o d'una menor qualitat del carboni. No obstant això, en els sòls forestals, s'ha descobert recentment que addicions de biochar augmenten la mineralització de nitrogen degut a l'adsorció i la resultant inactivació secundària de compostos de la planta, que normalment disminueixen l'activitat microbiana. Els efectes de biochar al sòl en el cicle del nitrogen i les emissions associades als gasos d'efecte hivernacle requereixen clarament, de més atenció.

2. Millora del sòl

Tota producció de bioenergia donarà lloc a un màxima extracció de la biomassa de la terra. Aquest procediment extractiu, condueix a la degradació generalitzada del sòl, amb efectes negatius sobre la productivitat del sòl, hàbitats i contaminació cap a fora. La piròlisi, juntament amb una matèria orgànica que retorna a través de les aplicacions de biochar, aborda aquesta dilema, perquè aproximadament la meitat del carboni original pot ser retornat. A més, el biochar és extremadament eficaç en la restauració de la fertilitat del sòl. La persistència extraordinària de biochar fa possible estendre la seva aplicació més enllà de la zona de la qual es va obtenir la biomassa per generar bioenergia. Un cop aplicat a un lloc determinat, les addicions de biochar no són necessàries repetir-les anualment, com s'exemplifica per la persistència d'una elevada fertilitat en les "Dark Earths" de l'Amazònia durant diversos centenars a milers d'anys, així com per les restes de la producció de carbó vegetal històric. Això permet l'aplicació a les àrees que no van ser utilitzades per la producció de bioenergia, però que es beneficiarien d'una millor fertilitat del sòl o la reducció de la contaminació per agroquímics.

3. Reducció dels pol·luents dels cursos d'aigua

Quan s'aplica a terra, el biochar pot reduir la contaminació cap a fora de dues maneres: primerament, retenint nutrients com ara el nitrogen i el fòsfor en el sòl i reduint la quantitat de nutrients del sòl que es filtren a les aigües subterrànies o erosionats en les aigües superficials. En segon lloc, el biochar reduiria la contaminació mitjançant la millora de la retenció de nutrients al capa superior del sòl, reduint així la quantitat de fertilitzant necessari per fer créixer un cultiu.

4. Depuració dels pol·luents de l'aire

La piròlisi sembla oferir oportunitats addicionals per disminuir les emissions de gasos d'efecte hivernacle, concretament a través de la capacitat de biochar per netejar el CO₂, els òxids de nitrogen i el diòxid de sofre de gasos de combustió.

El CO_2 es precipita sobre les superfícies del biochar durant un procés exotèrmic. Tal procediment es podria utilitzar per reduir les emissions netes per combustibles fòssils, per exemple en relació amb la combustió del carbó. Alhora, el precipitat crea un biochar molt ric en nitrogen que podria ser utilitzat en lloc d'addicions de fertilitzant de nitrogen. Aquests beneficis han de ser més investigats a fons.

6. Gasificació

La gasificació és un procés en el qual es converteix un material sòlid que conté carboni, tal com el carbó o la biomassa, en un gas. És un procés termoquímic, el que significa que la matèria primera s'escalfa a altes temperatures, produint gasos que poden experimentar reaccions químiques per formar un gas de síntesi. Aquest "syngas" conté principalment hidrogen i monòxid de carboni, i es pot utilitzar per produir energia o una gamma de productes químics, incloent els combustibles de transport líquids i gasosos.

6.1 Etapes del procés

El procés de gasificació segueix els següents passos explicats resumidament⁸:

1. La piròlisi vaporitza el component volàtil de la matèria primera (volatilització) mentre s'escalfa. Els vapors volàtils són principalment l'hidrogen, el monòxid de carboni, el diòxid de carboni, el metà, els gasos d'hidrocarburs, el quitrà i el vapor d'aigua. Les matèries primeres de biomassa tendeixen a tenir components més volàtils (70-86% sobre una base seca) que el carbó (un 30%) i per tant la piròlisi juga un paper més important en la gasificació de la biomassa que a la gasificació del carbó. També es produeixen char sòlid i cendra.
2. En la segona etapa, la gasificació trenca encara més els productes de piròlisi amb el subministrament de calor addicional (>800°C):
 - Alguns dels quitrans i hidrocarburs en els vapors són tèrmicament esquerdats per donar molècules més petites, que amb temperatures més altes resulta en un menor nombre de quitrans i hidrocarburs.
 - La gasificació al vapor (*steam gasification*) converteix el char en gas a través de diverses reaccions amb diòxid de carboni i vapor per produir monòxid de carboni i hidrogen.
 - Les temperatures més altes afavoreixen la producció d'hidrogen i de monòxid de carboni i pressions més altes afavoreixen la producció d'hidrogen i de diòxid de carboni per sobre del monòxid de carboni⁹.
3. La calor necessària per a totes les reaccions anteriors perquè es donin a terme és normalment proporcionada per la combustió parcial d'una porció de la matèria primera en el reactor amb una quantitat controlada d'aire, oxigen o aire enriquit amb oxigen¹⁰. La calor també pot ser

⁸ A project funded by DECC, project managed by NNFFC and conducted by E4Tech (June 2009). "Review of Technologies for Gasification of Biomass and Wastes".

⁹ Haryanto et al. (2009) "Upgrading of syngas derived from biomass gasification: A thermodynamic analysis" Biomass & Bioenergy 33, 882-889

¹⁰ Juniper (2007) "Commercial Assessment: Advanced Conversion Technology (Gasification) For Biomass Projects", report for Renewables Eas

proporcionada a partir de fonts externes utilitzant vapor sobreescalfat, materials del llit molt calents i per la combustió d'alguns dels chars o dels gasos per separat. Aquesta elecció depèn de la tecnologia de gasificació.

4. A continuació, hi ha més reaccions addicionals dels gasos formats, amb la reacció reversible d'aigua a gas canviant les concentracions de monòxid de carboni, vapor, diòxid de carboni i hidrogen dins del gasificador. El resultat del procés de gasificació és una barreja de gasos.

Hi ha un interès considerable en les rutes cap als biocombustibles líquids que impliquen la gasificació, sovint anomenades rutes termoquímiques o "biomass to liquids (BTL)", com a conseqüència de:

- El potencial de les rutes termoquímiques per tenir baixos costos, alta eficiència i alt estalvi de gasos d'efecte hivernacle. L'ús d'una àmplia gamma de matèries primeres de baix cost i de gasos d'efecte hivernacle potencialment de baix impacte, juntament amb un procés de conversió eficient, poden donar baix cost i baix nivell d'emissions de gasos d'efecte hivernacle per a la cadena de producció de combustible.
- La capacitat potencial dels gasificadors és l'acceptació d'una gamma més àmplia de matèries primeres de biomassa que les rutes biològiques. Les rutes termoquímiques poden utilitzar matèries primeres lignocel·lulòsiques (llenyoses) i residus, que no poden ser convertits per les actuals tecnologies de producció de biocombustibles. La disponibilitat de recursos d'aquestes matèries primeres és molt gran en comparació amb el potencial de recursos de matèries primeres dels biocombustibles actuals. Molts d'aquestes matèries primeres tenen un menor cost que les actuals pels biocombustibles, i alguns fins i tot tenen costos negatius ("gate fee") per al seu ús. El "gate fee" o taxa d'entrada és la comissió cobrada a una determinada quantitat de residus rebuts en un centre de tractament de residus.
- La producció de combustibles amb característiques millorades en comparació amb els biocombustibles d'avui en dia. Mentre que algunes rutes termoquímiques produeixen els mateixos tipus de combustibles com les rutes actuals de producció de biocombustibles, com ara etanol, altres poden produir combustibles amb característiques més similars als combustibles actuals, afegint una densitat energètica més alta.
- La capacitat potencial dels gasificadors d'acceptar matèries primeres barrejades i variables: mesclades de diferents tipus de matèria primera i de matèries primeres que varien en composició amb el temps. Les rutes biològiques per produir combustibles que utilitzen matèries primeres lignocel·lul·lòsiques, com ara la hidròlisi i la fermentació a etanol, impliquen tractaments previs i posteriors processos biològics que estan optimitzats per a determinats tipus de biomassa. Com a resultat, moltes

d'aquestes rutes tenen una capacitat limitada per acceptar matèries primeres barrejades o variables, com els residus, almenys en curt termini. La capacitat d'utilitzar matèries primeres barrejades i variables pot ser un avantatge de les rutes termoquímiques, a través de la possibilitat d'utilització de matèries primeres de baix cost i la capacitat de canviar les matèries primeres amb el temps.

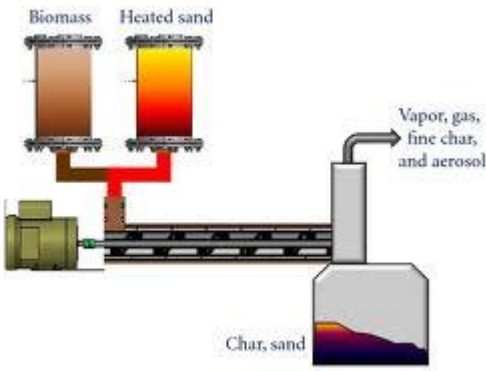
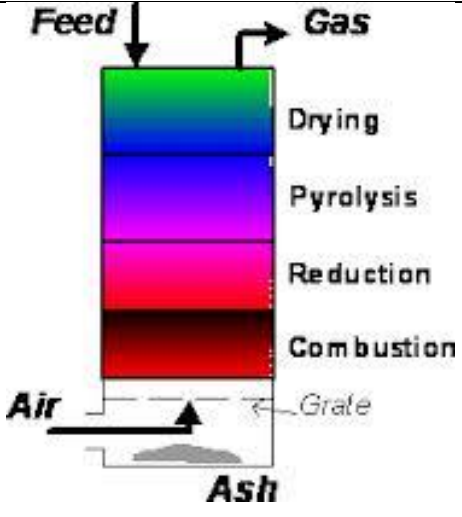
6.2 Tipus de gasificadors

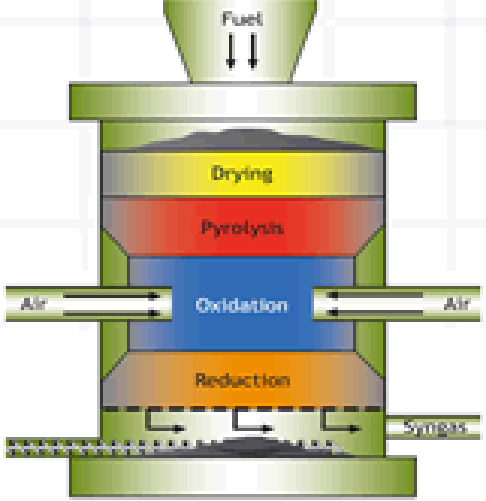
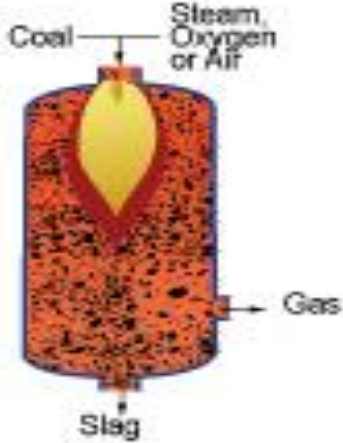
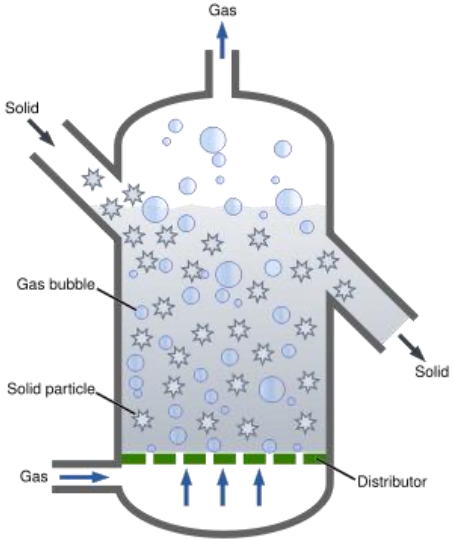
Hi ha diferents genèrics de tecnologia de gasificació que s'han demostrat o desenvolupat per a la conversió de matèries primeres de biomassa. La majoria d'aquests s'han desenvolupat i comercialitzat per a la producció de calor i electricitat a partir de gas de síntesi, en lloc de producció de combustible líquid. Els tipus principals de gasificadors es mostren a la **taula 7**, on les diferències principals entre ell són¹¹:

- Com la biomassa s'introdueix al gasificador i es mou dins del mateix. La biomassa és introduïda per la part superior del gasificador, pel costat, i després es va movent ja sigui per gravetat o fluxos d'aire.
- Ja sigui oxigen, aire o vapor s'utilitza com a oxidant. L'ús d'aire dilueix el gas de síntesi amb nitrogen, el que fa augmentar el cost del processament aigües avall. L'ús d'oxigen evita això, però és car, i per tant l'oxigen de l'aire enriquit també pot ser utilitzat.
- El rang de temperatura en què opera el gasificador.
- Si la calor per al gasificador és proporcionada per la combustió parcial per una part de la biomassa al gasificador (escalfat directament), o d'una font externa (escalfat indirectament), com ara la circulació d'un material inert o vapor.
- Si el gasificador opera o no per sobre de la pressió atmosfèrica, la gasificació pressuritzada proporciona majors rendiments, amb capacitats màximes més grans, promou la producció d'hidrogen i condueix a equips de neteja d'aigües avall més petits i més barats. A més, quan ja no es requereix una compressió addicional, la temperatura de gas de síntesi es pot mantenir alta per operacions d'aigües avall i la catàlisi de combustibles líquids. No obstant això, a pressions superiors a 25–30 bar, els costos augmenten ràpidament, ja que els gasificadors han de ser més robusts pel que fa al disseny, i els mecanismes d'introducció de la biomassa requerits impliquen complexes etapes de pressurització.

¹¹ A project funded by DECC, project managed by NNFCC and conducted by E4Tech (June 2009). "Review of Technologies for Gasification of Biomass and Wastes".

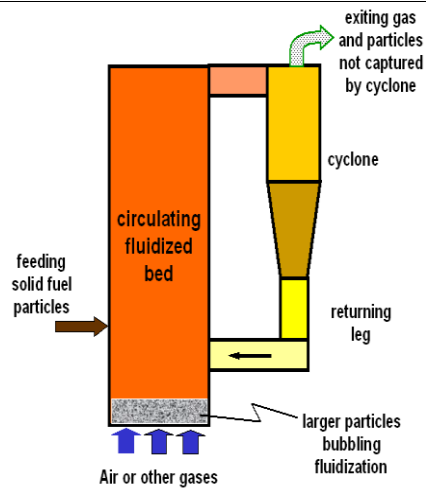
Taula 7.Tipus de reactors per a la piròlisi i gasificació de biomassa

<p>Auger reactor (reactor de cargol sense fi)</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>És el reactor que fem servir en la nostra planta de biomassa.</u> - La biomassa s'introdueix per la part superior, alimentant al reactor de biomassa, sempre a una velocitat controlada i determinada. - La biomassa arriba al reactor. Allà es va descomposant cap a un residu sòlid i a un producte gasós, el qual arriba al sistema de condensació per la convecció natural amb l'ajuda del gas portador (nitrogen). Els forns elèctrics hauran estat els encarregats d'escalfar el reactor per poder cremar la biomassa. - També, en un moment del procés, hi ha generació de bio-oli. - A partir d'aquí, el residu sòlid es refreda mitjançant un circuit d'aigua freda i cau a un contenidor que el conté. Aquest residu sòlid ja és biochar. 	
<p>Updraft fixed bed</p> <ul style="list-style-type: none"> - La biomassa s'introdueix per la part superior del gasificador, i l'entrada d'aire, oxigen o l'admissió de vapor és per la part inferior, per tant, la biomassa i els gasos es mouen en direccions oposades. - Algunes de les caigudes i cremades resultants del char serveixen per proporcionar calor. - Les fulles riques en gas metà i quitrà a la part superior del gasificador, i la cendra cau de la graella per a la recollecció a la part inferior del gasificador. 	

<p>Downdraft fixed bed</p> <ul style="list-style-type: none"> - La biomassa s'introdueix per la part superior del gasificador i l'aire, la ingesta d'oxigen o vapor d'aigua és també a la part superior o des dels costats, per tant, la biomassa i els gasos es mouen en la mateixa direcció. - Alguna biomassa és cremada, que cau a través de la gola del gasificador per formar un llit de char calent en els quals els gasos han de passar a través d'ell (una zona de reacció). - Això assegura un gas de síntesi de qualitat bastant alta, el qual s'allibera a la base del gasificador, amb cendra recollida sota de la graella. 	
<p>Entrained Flow (EF)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Biomassa en pols (granulada) s'introdueix a un gasificador pressuritzat amb oxigen i/o vapor. - Una flama turbulenta en la part superior del gasificador crema certa quantitat de biomassa, proporcionant grans quantitats de calor, a alta temperatura (1200-1500°C), per la conversió ràpida de la biomassa en gas de síntesi de molt alta qualitat. - La cendra es fon a les parets del gasificador, i es descarrega com escòria fosa. 	
<p>Bubbling fluidised bed (BFB)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un llit de material inert fi es situa a la part inferior del gasificador, amb aire, oxigen o vapor que és impulsat cap amunt a través del llit suficientment ràpid (1-3 m/s) per agitar el material. - Biomassa s'introdueix des del costat, es mescla, i combustiona o forma syngas que s'allibera/surt per amunt. - Opera a temperatures inferiors a 900°C per evitar que la cendra es fongui i s'enganxi. Pot ser pressuritzat. 	

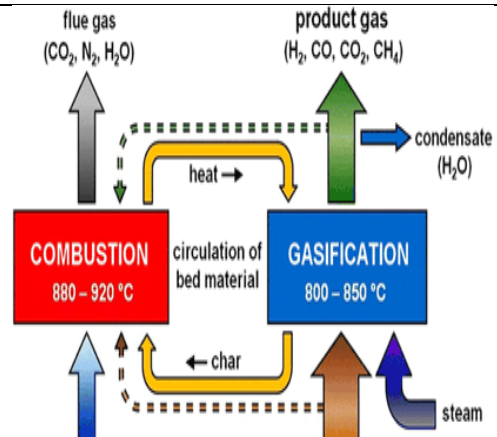
Circulating fluidised bed (CFB)

- Un llit de material inert fi que té aire, oxigen o vapor és impulsat cap amunt a través d'ell prou ràpid (5-10 m/s) per suspendre el material per tot el gasificador.
- La biomassa s'introdueix des del costat, es suspèn, i combustiona proporcionant calor o reacciona per formar gas de síntesi (syngas).
- La barreja de gas de síntesi i partícules es separen usant un cicló amb el qual el material retorna a la base del gasificador.
- Opera a temperatures inferiors a 900°C per evitar que la cendra es fongui i s'enganxi. Pot ser pressuritzat.



Dual fluidised bed (Dual FB)

- Aquest sistema té dues càmeres, una de combustió i l'altre un gasificador.
- La biomassa s'introdueix en la cambra de gasificació CFB/BFB, i és convertit a gas de síntesi lliure de nitrogen i char utilitzant vapor.
- El carbó és cremat a l'aire en la càmera de combustió CFB/BFB, escalfant les partícules del llit que l'acompanyen.
- Aquest material del llit calent s'introdueix de nou a la càmera de gasificació, proporcionant el calor de reacció de manera indirecte.
- Els ciclons treuen qualsevol gas de síntesi o gas de combustió de la cambra CFB.
- Opera a temperatures inferiors a 900°C per evitar que la cendra es fongui i s'enganxi. Pot ser pressuritzat.



Plasma

- La biomassa no tractada es deixa caure al gasificador, entrant en contacte amb un plasma generat elèctricament, en general a pressió atmosfèrica i temperatures de 1.500-5.000°C.
- La matèria orgànica es transforma en gas sintètic de gran qualitat i la matèria inorgànica es vitrifica a escòria inerta.
- Cal recordar que la gasificació per plasma utilitza bufadors de plasma. També és possible l'ús d'arcs de plasma en una posterior etapa del procés per a la neteja del gas de síntesi.



Font: A project funded by DECC, project managed by NNFCC and conducted by E4Tech (June 2009). *Review of Technologies for Gasification of Biomass and Wastes.*

De tots els tipus de gasificadors que acabem de comentar, la majoria també serveixen per la piròlisi però en la nostra planta utilitzarem l'*auger reactor* (reactor de cargol sense fi).

6.3 Teoria de la gasificació

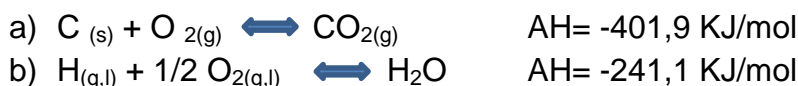
La gasificació és un procés endotèrmic de reducció en el que es converteix, mitjançant oxidació parcial a temperatura elevada, una matèria prima generalment sòlida en un gas amb poder calorífic. Es porta a terme en etapes successives que es produeixen simultàniament dins del gasificador. La forma en la que tenen lloc processos i reaccions depèn del tipus de gasificador.

Un gasificador de biomassa consisteix principalment d'un reactor alimentat d'un combustible biomàssic junt amb un limitat subministre d'oxigen (menys que en les condicions estequiomètriques necessàries per a la combustió completa).

Com ja s'ha comentat, la gasificació és un procés endotèrmic i per a que es produeixi cal aportar-li energia, aquesta s'obté mitjançant la combustió parcial del combustible que l'alimenta.

El primer que succeeix quan el sòlid orgànic entra al gasificador és l'assecat i escalfat del combustible. Un cop s'ha assolit la temperatura suficient, es produeix la piròlisi, en la que el sòlid allibera els compostos volàtils i es forma un residu carbonós o char.

El residu carbonós, en presència de l'oxigen tendeix a combustionar, un limitat subministre d'oxigen, aire, vapor d'aigua o combinació dels mateixos serveix com a agent oxidant. En combustió completa, el diòxid de carboni és obtingut del carboni i l'aigua, de l'hidrogen. La oxidació o combustió és descrita per les següents fórmules:



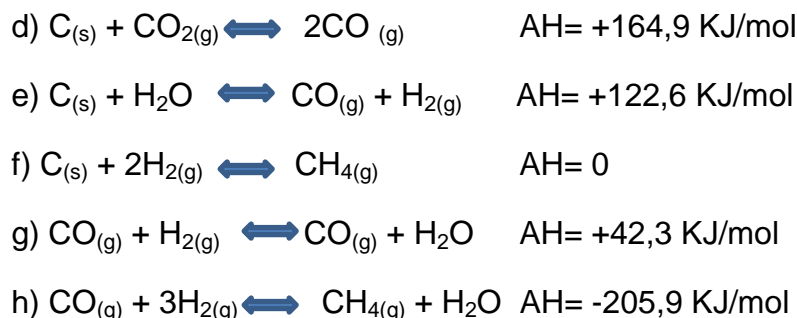
Com que l'agent oxidant s'hi troba en quantitat insuficient per a que es produeixi la combustió completa, s'afavoreix la presència de monòxid de carboni per combustió incompleta (c).



A la zona de reducció, on es produeix la pròpiament dita gasificació, l'excés de residu carbonós reacciona amb els gasos presents, principalment diòxid de carboni i aigua (d), (e), (f) que es redueixen tant com sigui possible a monòxid de carboni, hidrogen i metà, principals components del gas de síntesi o gas pobre.

Aquest, consisteix de monòxid de carboni, diòxid de carboni, hidrogen, metà i petites quantitats d'età, aigua, nitrogen i varis contaminants com partícules de quitrans i cendres. El seu poder calorífic varia entre 4 i 7 MJ/m³ segons les característiques del combustible, el tipus de gasificador i l'agent gasificant.

A continuació es donen les reaccions més importants que tenen lloc a la zona de reducció d'un gasificador entre els diferents reactius gasosos i sòlids:



Les equacions (d), (e) i (f) són les principals reaccions de reducció del material carbonós i demostren que la reducció requereix un aport extern de calor. Així, la temperatura del gas disminuirà durant la reducció.

La reacció (g) descriu l'equilibri gas-aigua, aquest és diferent per a cada temperatura.

La concentració dels productes i reactius vindrà donada per la constant d'equilibri. La velocitat de reacció disminueix amb la temperatura i per sota dels 700°C esdevé tant lenta que es diu que la composició del gas roman constant.

La reacció (h) descriu la formació de metà a partir de l'hidrogen i el monòxid de carboni formats en les reaccions de reducció.

7.Torrefacció

7.1 Definició

La torrefacció o piròlisi lenta és un mètode de conversió tèrmica de pretractament de la biomassa en un rang de temperatura baix entre 200 i 300°C i una duració de més o menys una hora. Es dona en condicions atmosfèriques i en absència d'oxigen. La torrefacció rep altres noms com procés de torrat, assecat d'alta temperatura o piròlisis isotèrmica. En aquest procés, la biomassa és pretractada i es millora la composició química, física i bioquímica d'aquesta per produir un biocombustible sòlid de gran capacitat que pot ser emprat en la combustió i en la gasificació. Aquest tractament tèrmic, no solament destrueix l'estructura fibrosa i la tenacitat de la biomassa sinó que també incrementa el seu valor calorífic. Després de la torrefacció la biomassa te millors característiques hidrofòbiques que fa que sigui més atractiu l'emmagatzematge de la biomassa torrada respecte la biomassa que no ho està, degut a la capacitat de podrir-se d'aquesta última. Durant el procés de torrefacció, la biomassa en part es volatilitza donant a una reducció de la massa però el contingut d'energia inicial de la biomassa torrada és preservada en el producte sòlid així que la densitat energètica de la biomassa torrada és superior que la biomassa original. Això, fa que sigui més atractiu en el transport. Per exemple, el balanç energètic de la torrefacció de la biomassa llenyosa és que el 70% de la massa retinguda com a producte sòlid conté el 90% de l'energia que contenia inicialment la biomassa. De l'altre banda, el 30% restant de la massa és convertit a gas torrat, el qual conté solament el 10% de l'energia de la biomassa. Com que la densitat energètica de la fusta torrada és superior comparada a la fusta sense tractament, el transport a grans distàncies es pot permetre.

Un altre avantatge de la biomassa torrada, és la uniformitat en la qualitat del producte. Per exemple, la tala d'arbres, la demolició de fusta i els residus de fusta tenen, després de la torrefacció, propietats físiques i químiques molt similars. Finalment, el principi fonamental de la torrefacció des d'un punt de vista químic és l'eliminació d'oxigen amb un producte final sòlid: la biomassa torrada té un menor O/C ràtio en comparació a la biomassa original.

7.2 Etapes del procés

En les etapes del procés de torrefacció hi ha diferents paràmetres que l'influencien com són la temperatura de reacció, la taxa d'escalfament, l'absència d'oxigen, el temps de residència, la pressió ambient, la flexibilitat de la matèria primera i la humitat i la mida de les partícules de la biomassa.

En el mateix procés de torrefacció hi ha diferents etapes com l'escalfament, l'assecatge, la torrefacció i per acabar el refredament.

1. Escalfament inicial: la biomassa és inicialment escalfada fins que l'etapa d'assecatge de la biomassa és assolida. En aquesta etapa, la temperatura es va incrementant, fins que al final d'aquesta etapa la humitat de la biomassa comença a evaporar-se. El tamany de les partícules juga un paper molt important ja que afecta els mecanismes de la reacció, la cinètica i la duració del procés donada una taxa d'escalfament específica.
2. Pre-assecat: a 100°C l'aigua lliure s'evapora de la biomassa a temperatura constant. Normalment, és pre-assecada fins al 10% o menys contingut d'humitat abans del procés de torrefacció.
3. Post-assecat i escalfament intermedi: la temperatura de la biomassa és incrementada fins als 200°C. L'aigua lligada físicament a la biomassa és alliberada mentre que la resistència en contra la transferència de massa i calor està dins les partícules de la biomassa. Durant aquesta etapa es pot perdre massa com l'evaporació de fraccions lleugeres.
4. Torrefacció: durant aquesta etapa es dona el procés actual. La torrefacció comença quan la temperatura arriba a 200°C i acaba quan el procés torna a ser refredat des d'una temperatura específica fins als 200°C. La temperatura de la torrefacció és definida com la màxima temperatura que es manté constant. Durant aquest procés esdevé la major pèrdua de massa de la biomassa.
5. Refrigeració de sòlids: el producte de la torrefacció es refreda més per sota de 200°C fins la temperatura final desitjada, que és la temperatura ambient (*room temperature*).

Durant el procés de torrefacció es formen diferents productes depenent de les condicions del mateix, com la temperatura de reacció, el temps de residència i les propietats de la biomassa. Com a resultat de la descomposició parcial de la biomassa durant el procés, la composició química de la biomassa original canvia com s'il·lustra a la **Figura 13. Diagrama de Van Krevelen**. Aquest diagrama ens dona informació sobre les diferències en la composició elemental, com és el C-H-O ràtio. En el diagrama es mostra la composició de diferents combustibles com el carbó, la lignita, la biomassa...i analitzant-lo, es pot observar que la biomassa, inicialment, si la comparem al carbó, conté més oxigen i més hidrogen.

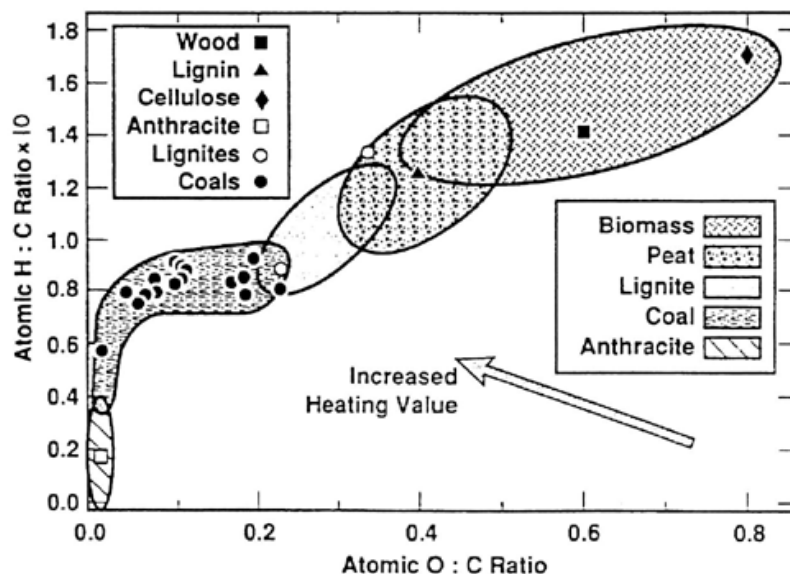


Figura 13. Diagrama de Van Krevelen **Font:** M.J.C. van der Stelt, H. Gerhauser, J.H.A. Kiel b, K.J. Ptasinski (2011). "Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review". Pag. 3750.

La torrefacció té una gran influència pel que fa a les propietats del producte sòlid, principalment causat per l'extracció d'oxigen de la biomassa original. En aquest diagrama es pot observar que per fusta torrada, les propietats del producte sòlid són influenciades i s'assemblen més a les propietats del carbó. Es pot veure com la biomassa (cercle més gran de la part superior dreta), perd més hidrogen i oxigen i les propietats canvien en la direcció del carbó (segon cercle en el diagrama). Així doncs, s'influència la capacitat calorífica neta i el producte té més densitat energètica.

7.3 Efectes de la temperatura en els components de la biomassa

L'exposició de la biomassa a elevades temperatures provoca degradació tèrmica de la seva estructura, acompanyat sovint per pèrdua de massa. El grau de degradació tèrmica depèn de la durada de l'escalfament i la temperatura. Les variables del procés d'assecat que poden influir en l'estructura i en canvis químics de composició inclouen composició de la biomassa, la mida de les partícules, la temperatura de processament i el temps, la velocitat d'escalfament, la composició del gas, la pressió i velocitat de flux.

A temperatures d'assecat entre 50-150°C **(A)**, la biomassa perd la humitat i es contrau. Això també es tradueix en una reducció de la porositat en la biomassa tot i que encara pot tenir la capacitat de conservar la seva estructura si es torna a humitejar. Aquesta regió és coneguda com la zona d'assecat no reactiva, on la majoria dels components químics de la biomassa segueixen intactes. A

l'extrem superior d'aquestes temperatures (és a dir, 120-150°C) **(B)**, la lignina s'estova i fa el material més adequat per la densificació, ja que la lignina estovada actua com un aglutinant. El règim de temperatura **(C)** (és a dir, 150-200°C), també anomenat el rang d'assecat reactiu, inicia el trencament d'enllaços d'hidrogen i de carboni i això resulta en l'emissió d'extractius lipofílics i compostos a causa de la degradació tèrmica dels sòlids de la biomassa. A aquesta temperatura, també dóna com a resultat deformitat estructural a partir de la qual la biomassa perd la seva capacitat de recuperar la seva estructura original si la tornen a humitejar. L'augment de la temperatura com es mostra en règim **(D)**, també anomenat assecat destructiu (200-300°C), resulta en la carbonització i la volatilització.

Aquestes temperatures anomenades anteriorment representen els límits del procés de torrefacció, que donen com a resultat l'alteració de la majoria dels enllaços d'hidrogen intermoleculars i intramolecular i els enllaços C-C i C-O, resultant en la formació de extractius hidròfils, àcids carboxílics, alcohols, aldehids, èter, i gasos com CO, CO₂ i CH₄. A aquestes temperatures l'estructura de la cèl·lula està completament destruïda ja que la biomassa perd la seva naturalesa fibrosa i es torna trencadissa. A més, l'augment de la temperatura a > 300°C dóna en una volatilització extensa i la carbonització dels polímers.

A temperatures inferiors a 250°C, la pèrdua de massa està a mínims, ja que la principal descomposició de la biomassa resulta d'una desvolatilització i carbonització limitada de l'hemicel·lulosa. A temperatures majors a 250°C, l'hemicel·lulosa es descompon extensivament a volàtils i un producte sòlid com el char. La lignina i cel·lulosa mostren una volatilització i carbonització limitada.

Els canvis de color en la biomassa a diferents règims de temperatura indiquen que la biomassa es torna de marró a negre a 150-300°C, el que es pot atribuir principalment als canvis químics de composició. Durant la torrefacció a 200-300°C, la pèrdua de massa predominantment resulta de la pèrdua d'humitat i descomposició (volatilització), especialment hemicel·lulosa i una mica de lignina.

L'hemicel·lulosa basada en xilà generalment es descompon al voltant de 250-280°C. En canvi, la descomposició de la lignina es produeix més lentament, però augmenta poc a poc començant aproximadament als 200°C.¹¹ No obstant això, el comportament de la descomposició tèrmica dels polímers (individualment) de la biomassa, pot ser diferent al del conjunt de la biomassa. La **figura 14** indica la típica pèrdua de pes (l'eix d'ordenades) a l'àlber (*Populus alba*) en funció de la temperatura (eix d'abscisses). La figura mostra clarament que la pèrdua de pes i la degradació de la composició bioquímica comença normalment a temperatures superiors als 200°C.

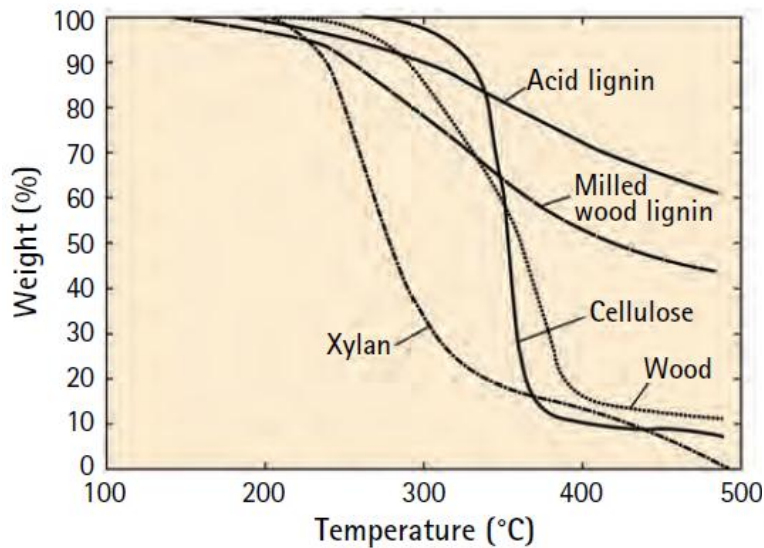


Figura 14. Pèrdua de pes a l'àlber en funció de la temperatura.

Font: Tumuluru. J, Sokhansanj S, Hess J.R, Wright.C, and Boardman R. (2011). "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy Applications". Pag. 389.

7.4 Productes en el procés de torrefacció

Durant el procés de torrefacció es generen tres productes diferents:

1. La biomassa sòlida uniforme passa de marró a negre, que és utilitzada per aplicacions de bioenergia,
2. Compostos orgànics volàtils que es poden condensar i que consten d'aigua, àcid acètic, aldehids, alcohols i cetones i
3. Gasos no condensables com el CO₂, CO, i petites quantitats de metà.

L'alliberament d'aquets gasos condensables i no condensables resulta en canvis en les propietats físiques, químiques i d'emmagatzematge de la biomassa.

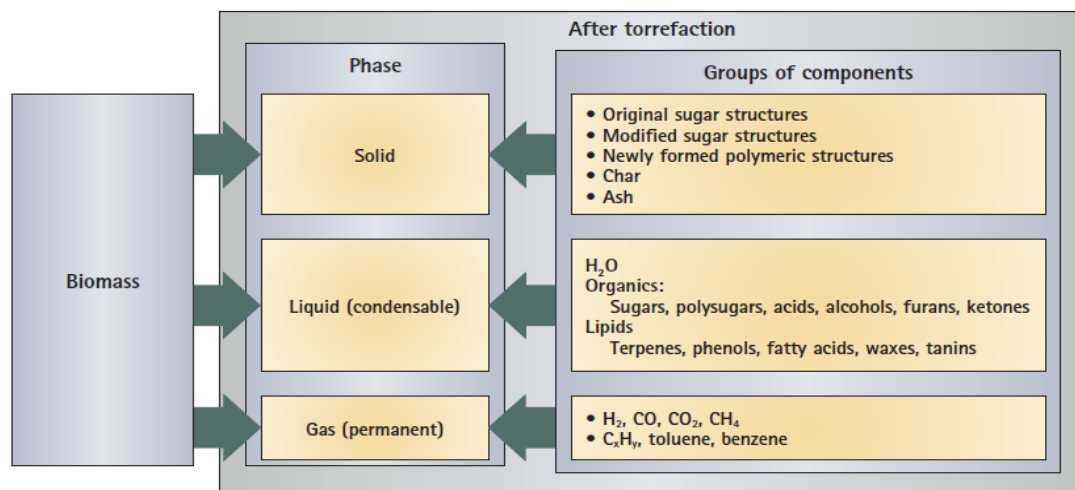


Figura 15. Productes formats durant la torrefacció de la biomassa. **Font:** Tumuluru. J, Sokhansanj S, Hess J.R, Wright.C, and Boardman R. (2011). "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy Applications". Pag. 390.

En la **figura 15** (part superior) es poden veure els productes de la torrefacció en els diferents estats a temperatura ambient. La fase sòlida consisteix en estructures caòtiques dels sucres originals i productes de la reacció, com el char o la cendra (ash). La fase gasosa inclou gasos que es consideren permanents i compostos aromàtics com el benzè i el toluè. Finalment la fase líquida o condensable pot ser dividida en quatre subgrups: (1) l'aigua de la reacció produïda de la descomposició tèrmica, (2) l'aigua alliberada a través de l'evaporació, (3) orgànics en forma líquida, que consisteixen en orgànics produïts durant la volatilització i carbonització com ara sucres, àcids, furans...i (4) lípids, que contenen compostos com ara ceres, àcids grassos, fenols...

Els productes condensables i no condensables són emesos per la biomassa basats en la taxa d'escalfament, la temperatura de torrefacció i el temps i la composició de la biomassa. L'emissió d'aquests productes depèn del contingut d'humitat de la biomassa.

7.5 Massa i rendiment energètic

Una distribució típica de massa i rendiment energètic la trobem a la **taula 8**, on s'il·lustra la conservació de la massa i l'energia en el producte sòlid. Es pot veure que a més dels sòlids, durant el procés de torrefacció també es produeix, principalment, aigua i el contingut d'energia dels volàtils es conserva en els lípids i els compostos orgànics.

REACTION PRODUCTS	MASS YIELD	ENERGY YIELD (LOWER HEATING VALUE [LHV], daf) (%)
Solid	87.5	94.9
Lipids	1.4	3.4
Organics	1.7	1.6
Gases	1.4	0.1
Water	8.0	0.0

Taula 8. Massa i rendiment energètic del salze a 280°C i 17,5 min de temps de reacció.

Font: Tumuluru. J, Sokhansanj S, Hess J.R, Wright.C, and Boardman R. (2011). "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy Applications". Pag. 391.

Les condicions d'operació de la torrefacció i les propietats de la biomassa tenen un impacte significatiu en la quantitat de residu sòlid restant i els productes volàtils i gasosos produïts durant el procés. Així, l'anàlisi de sòlids, volàtils i dels gasos i dels resultats de diferents estudis no són exactament els mateixos.

Es van realitzar diversos experiments de balanços de massa en el procés de torrefacció. Aquestes dades es reproduïen a la **figura 16**, que veïeu a continuació, on es veu una gran diferència en la distribució del producte per a diferents tipus de biomassa. El Làrix (larch i *Larix*) té el major rendiment de

producte sòlid i el més petit en rendiment màssic de gas i de líquid. En canvi, la palla (straw) té major fracció de gas i líquid que la biomassa llenyosa, mentre que el salze (willow i *Salix*) el trobem entre la biomassa llenyosa i la palla. S'ha descobert, que un augment de temperatura en el procés de torrefacció condueix a una disminució de la fracció de char i un augment de les fracció de volàtils, incloent líquids i gasos no condensables, que és el resultat de la competència entre les reaccions de carbonització i volatilització que es tornen més reactives a temperatures més elevades.

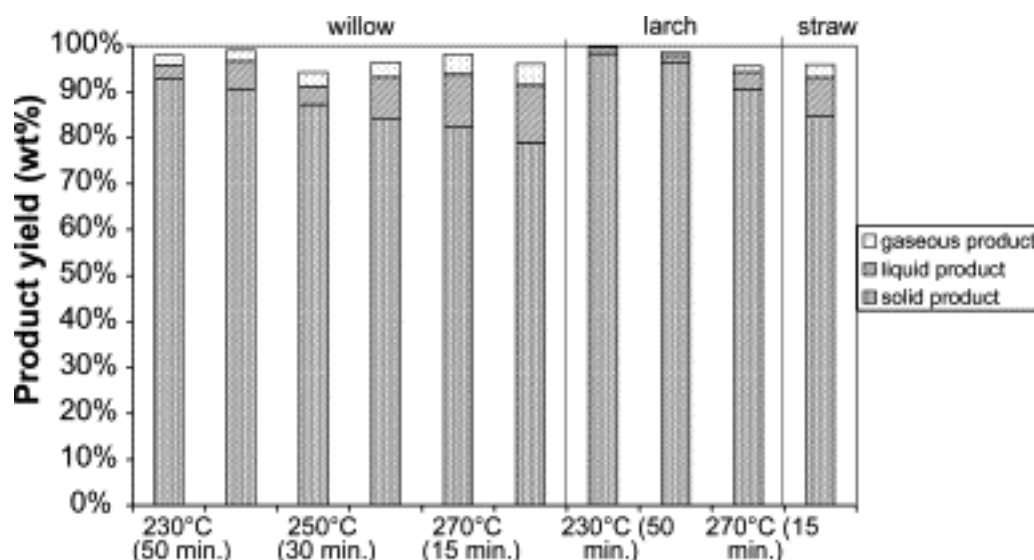


Figura 16. Balanç de masses per diferents experiments de torrefacció. **Font:** Tumuluru. J, Sokhansanj S, Hess J.R, Wright.C, and Boardman R. (2011). "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy Applications". Pag. 391.

Si, per exemple, es compara la conversió de residus agrícoles (és a dir, la palla d'arròs i la colza o canola ("rape stalk")) amb la biomassa llenyosa, la conversió del sòlid cap a líquid de la primera és molt més gran que la d'aquesta última en les mateixes condicions de torrefacció (és a dir, la temperatura i temps de residència). Això és degut a la major contingut de matèria volàtil en els residus agrícoles i la descomposició de l'hemicel·lulosa, la principal fracció descomposada en el rang de temperatura de la torrefacció.

7.5.1 Productes condensables

L'aigua és el principal producte condensable de la torrefacció. És alliberada durant l'assecat quan la humitat s'evapora i durant les reaccions de deshidratació entre molècules orgàniques. L'àcid acètic és també un producte condensable del procés esmentat que s'origina principalment des dels grups acetoxi- i metoxi- presents com a cadenes laterals en unitats de xilosa (part de la fracció d'hemicel·lulosa). Amb els estudis que hem comentat, es va demostrar que quantitats més petites d'àcid fòrmic, àcid làctic, furfural, hidroxil acetona, i traces de fenol també són presents al component volàtil. Els

rendiments de la major part dels volàtils condensables s'incrementarà amb la temperatura de torrefacció, com s'observa a la **figura 17**. Com a resultat, més energia és transferida als volàtils en forma de combustibles, tal com metanol i l'àcid acètic.

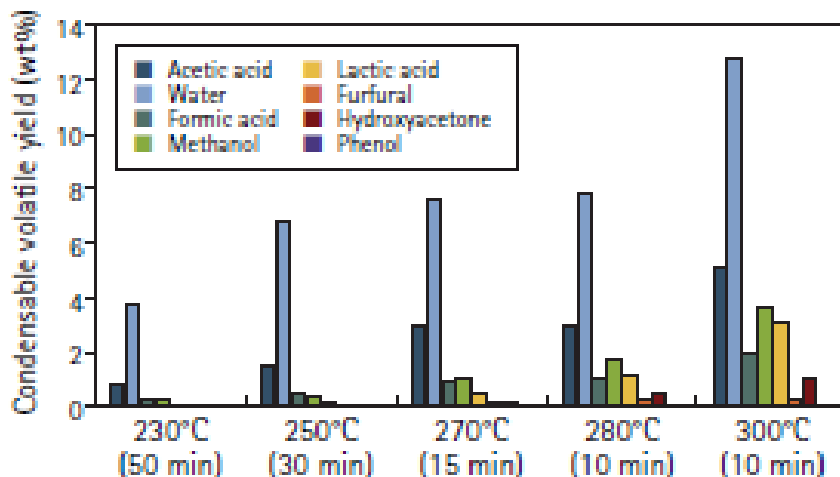


Figura 17. Rendiments dels volàtils condensables durant la torrefacció. **Font:** Tumuluru. J, Sokhansanj S, Hess J.R, Wright.C, and Boardman R. (2011). "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy Applications". Pag. 391.

7.5.2 Productes no condensables

Els principals gasos formats durant la torrefacció són el diòxid de carboni i el monòxid de carboni amb traces d'altres gasos (fracció molt petita). El monòxid de carboni és la font principal del valor calorífic dels no condensable pel que fa als productes de torrefacció. La formació de CO₂ pot explicar-se per descarboxilació de grups àcids en la fusta i altre biomassa herbàcia. La formació de CO, en canvi, no es pot explicar per les reaccions de deshidratació o descarboxilació. L'increment en la formació de CO és degut a causa de la reacció de diòxid de carboni i la reacció de vapor d'aigua amb char porós. També trobem traces d'hidrogen i de metà que es detecten en els productes no condensables. Una comparació de la composició de gas entre els residus llenyosos i agrícoles indica que l'últim es caracteritza per una major producció de CO₂. A més, un estudi de la cinètica de la generació de gasos no condensables mostra que els gasos es formen a través d'una reacció paral·lela de primer ordre independent. La composició dels compostos volàtils no condensables (en la figura a continuació pel salze i el làrix) produïts en diferents condicions de torrefacció es mostra a la **figura 18**. La relació de CO a CO₂ augmenta amb la temperatura perquè la cel·lulosa i lignina es descomponen a major temperatures.

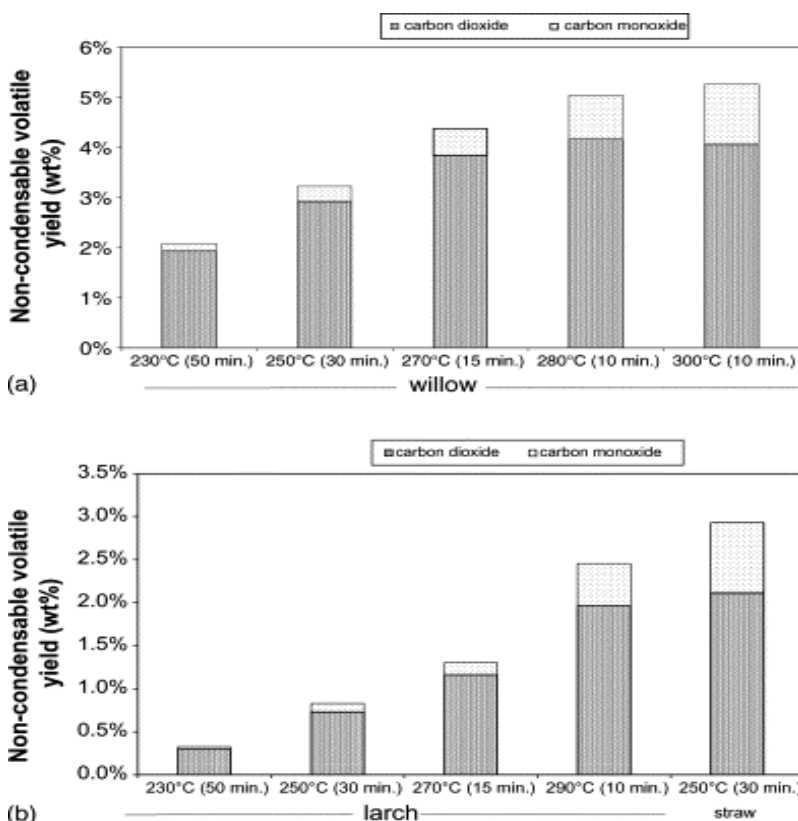


Figura 18. Volàtils no condensables per diferents condicions de torrefacció.

Font: Tumuluru. J, Sokhansanj S, Hess J.R, Wright.C, and Boardman R. (2011). "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy Applications". Pag. 391-392

Tanmateix, en la **figura 19**, s'observa la composició del gas dels productes no condensables a través del temps, que no sumen 100% perquè només els principals components (CO_2 i CO) es mostren. Aquests resultats es van obtenir per la torrefacció del làrix i el salze a 250°C durant 5, 15, i 30 minuts respectivament. Es va esbrinar que la proporció de CO_2 a CO disminueix amb el temps, d'acord amb la teoria que el CO es forma en una reacció secundària.

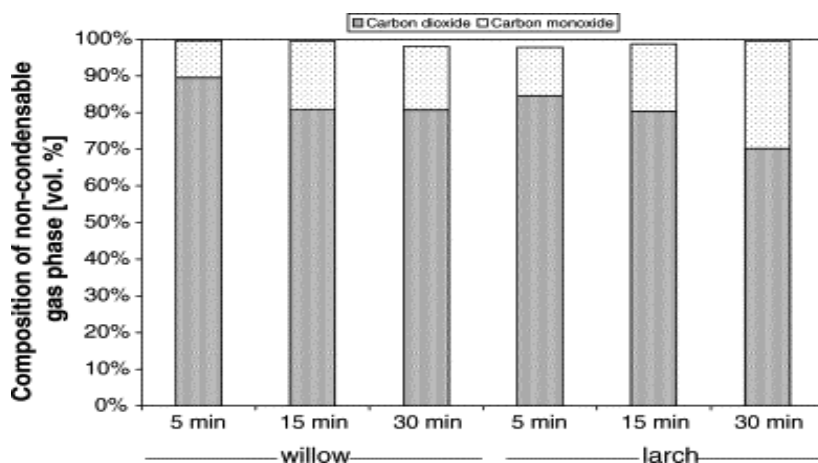


Figura 19. Canvis en la composició de gas durant el temps en la torrefacció a 250°C

Font: Tumuluru. J, Sokhansanj S, Hess J.R, Wright.C, and Boardman R. (2011) "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy Applications". Pag. 392.

7.5.3 Eficiència del procés de torrefacció

El procés de torrefacció augmenta la densitat d'energia i millora de manera global les propietats del combustible del producte torrat. No obstant això, la torrefacció és una operació de tractament previ d'alt consum energètic i intensiu degut a les altes temperatures usades en el procés. Reutilitzant l'excés de calor generat en el procés, hi hauria un impacte significatiu en la eficiència general del sistema. A més, tant els productes volàtils condensables i no condensables tenen un impacte significatiu en l'eficiència energètica del procés. Per aconseguir una alta eficiència energètica a baix cost, les tecnologies innovadores en torrefacció s'han desenvolupat per capturar l'excés de calor i l'energia volàtil; el procés de torrefacció del *Energy Research Center of the Netherlands* (ECN's) és un dels més madurs, com es mostra a la **figura 20**.

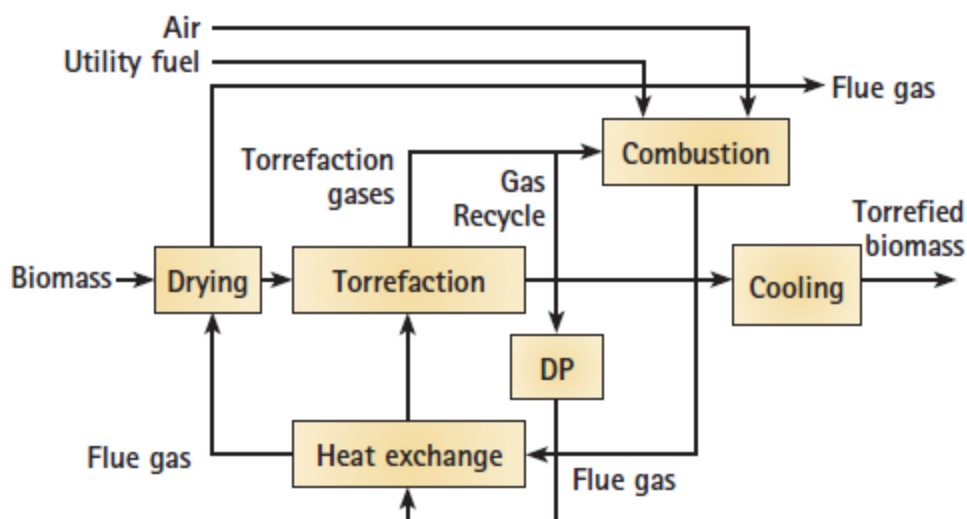


Figura 20. L'estructura prevista conceptualment del procés de torrefacció segons ECN. **Font:** Tumuluru. J, Sokhansanj S, Hess J.R, Wright.C, and Boardman R. (2011). "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy Applications". Pag. 393

El disseny del procés representat en la figura anterior es basa en l'escalfament directe de biomassa durant la torrefacció mitjançant gas calent reciclat. El gas calent consisteix en el gas de la torrefacció i és re-pressuritzat per compensar la caiguda de pressió en el bucle de reciclatge. S'escalfa el gas reciclat per subministrar la demanda de calor requerida al reactor de la torrefacció. La combustió del gas torrat alliberat produeix la calor necessària per a la torrefacció i el pre-assecat. Un combustible d'utilitat pot ser utilitzat quan el contingut d'energia del gas torrat és insuficient per equilibrar tèrmicament el procés de torrefacció i de proporcionar estabilitat i control del procés de combustió.

Es va identificar aquest concepte del procés com el més prometedori per a la torrefacció, el qual aconsegueix un funcionament autotèrmic quan la demanda

total de calor del procés (assecat i torrefacció) s'equilibra amb el contingut d'energia del gas torrat. Les condicions de torrefacció (temperatura i temps de residència) són les variables crucials per sintonitzar l'equilibri tèrmic (és a dir, el rendiment energètic de torrefacció i per tant el contingut d'energia del gas de torrefacció).

El gas de torrefacció es compon d'una gran varietat de components orgànics combustibles. No obstant això, els principals components del gas de torrefacció són incombustibles (aigua i CO₂). Fins i tot quan biomassa completament assecada és torrada, s'espera que el gas torrat tingui un contingut d'aigua de més de 50% en pes i un contingut de CO₂ d'un 10%, també en pes, el que fa un total de 60% en pes de components incombustibles de les emissions totals. La quantitat exacta està determinada per condicions específiques i pel contingut d'humitat de la biomassa que alimenta el procés.

7.6 Propietats físiques

La torrefacció de la biomassa canvia significativament les seves propietats físiques i químiques, com el contingut d'humitat, la densitat, la mòlta, la pel-letabilitat, l'hidrofobicitat, el valor calorífic, la composició inicial i final, i els comportaments d'emmagatzematge en termes d'alliberament de gasos, combustió espontània i autoescalfament.

-. **Contingut d'humitat:** Normalment, el contingut d'humitat de la matèria primera oscil·la entre el 10 i el 50%, però amb la torrefacció aquest material pateix un profund procés d'assecat, el contingut d'humitat es redueix a 1-3% en pes, depenent de les condicions de torrefacció. Generalment, la torrefacció aconseguix un contingut d'humitat d'equilibri de 3% i una reducció de la massa en un 20-30% (principalment per l'alliberament d'aigua, òxids de carboni, i els volàtils), mentre retén de 80-90% el contingut d'energia original de la fusta. La reducció de la humitat durant el procés de torrefacció ofereix tres avantatges principals: (1) nivell reduït d'humitat per al procés de conversió, (2) costos de transport reduïts associats amb el moviment no desitjat d'aigua, i (3) la prevenció de la descomposició de la biomassa i l'absorció d'humitat durant l'emmagatzematge i transport.

-. **Volum i densitat energètica:** La pèrdua de massa en forma de sòlids, líquids i gasos durant la torrefacció fa que la biomassa sigui més porosa. Això resulta en una disminució significativa de la densitat volumètrica, típicament entre 180 i 300 kg/m³, depenent de la densitat inicial de la biomassa i de les condicions de torrefacció.

L'estudi de l'efecte de la torrefacció a les propietats energètiques de la fusta d'*Eucalyptus grandis* indica una pèrdua de densitat aparent de 14,12% quan la

fusta és torrada a la temperatura de 280°C durant 30 minuts. La **taula 9** que adjuntem a continuació mostra la pèrdua en densitat aparent per temperatures de torrefacció en el rang de 220-280°C.

Taula 9. Densitat aparent de la fusta d'*Eucalyptus grandis* en tres tractament diferents.

TREATMENT	BULK DENSITY (g/cm ³)	PERCENTAGE LOSS
Control*	0.85 ^a	—
220°C	0.83 ^a	2.35
250°C	0.79 ^b	7.06
280°C	0.73 ^c	14.12

Font: Tumuluru. J, Sokhansanj S, Hess J.R, Wright.C, and Boardman R. (2011) "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy Applications". Pag. 394

*Mitjana del contingut d'humitat del tractament del control (15%)

Malgrat la reducció de la densitat aparent, hi ha un augment de la densitat energètica. La densitat calorífica d'estelles de fusta de pi augmenta entre un 11-20 MJ/kg. Molts investigadors han observat que la densitat energètica de la biomassa lignocel·lulòsica i la llenyosa augmenta significativament després de la torrefacció (> 60%), el que fa que els seu valor augmenti, tan econòmicament com el rendiment al cremar-la.

- Mòlta: La biomassa és molt fibrosa i tenaç en la naturalesa; les fibres formen enllaços entre les partícules i fan difícil el maneig de les mostres de sòl inicials. Durant el procés de torrefacció, la biomassa perd el seu caràcter tenaç, que s'associa principalment amb la ruptura de la matriu de l'hemicel·lulosa i la despolimerització de la cel·lulosa, el que resulta en la disminució de la longitud de la fibra. La longitud de les partícules també es redueix, però no el diàmetre de per si, resultant en una millor capacitat de mòlta, en millor característiques de maneig i capacitat de flux a través de sistemes de processament i transport. També durant el procés de torrefacció, la biomassa tendeix a encongir-se, es fa més lleugera, escamosa, i fràgil i perd la seva resistència mecànica, pel que és més fàcil de moldre i polveritzar.

Es van dur a terme estudis sobre les necessitats d'energia per a la mòlta de la biomassa crua (raw biomass) i la biomassa torrada del salze, talls en fusta, fusta de demolició i el carbó utilitzant un molí de tall. Van arribar a la conclusió que el consum d'energia es redueix dramàticament quan la biomassa és primerament torrada. Aquesta reducció oscil·la entre el 70-90%, basat en les

condicions sota les quals el material és torrat. També es va descobrir que la capacitat del molí augmenta en un factor de 7,5 a 15%. L'observació més important que van trobar, però, va ser que les característiques de la reducció de mida de la biomassa torrada van ser similars al carbó.

- **Canvis en la composició química:** A més de millorar els atributs físics, la torrefacció també es tradueix en canvis significatius en la composició de la biomassa i fa que sigui més adequada per a aplicacions de combustible. Estudis fets sobre la torrefacció de la palla de blat, la palla d'arròs i residus de cotó (cotton gin waste) a 200, 260 i 315°C durant 60, 120 i 180 min respectivament, va concloure que el contingut d'humitat es va reduir en les condicions (260°C durant 120 min) per als tres materials d'alimentació a 70,5, 49,4, i el 48,6%, i el poder calorífic va augmentar en un 15,3, 16,9 i 6,3%, respectivament.

En general, l'augment de les temperatures de torrefacció dóna un augment en el contingut de carboni i la disminució de contingut d'hidrogen i oxigen a causa de la formació d'aigua, CO i CO₂.

Aquest procés també fa que el ràtio hidrogen-carboni (H/C) i d'oxigen-carboni (O/C) disminueixi en augmentar la temperatura i el temps del procés, el que resulta en menys fum i la formació de vapor d'aigua i la reducció de la pèrdua d'energia durant la combustió i processos de gasificació. En estudis de torrefacció d' herba "reed canary" o *Phalaris arundinacea* i palla de blat a temperatures de 230, 250, 270 i 290°C durant 30 minuts de temps de residència, es va trobar que el contingut d'humitat disminueix des d'un valor inicial de 4,7 a 0,8%. També es va veure que el carboni va augmentar des de 48,6 a 54,3%, mentre que el contingut d'hidrogen i nitrogen va disminuir de 6,8 a 6,1%, i de 0,3 a 0,1%, respectivament. Així doncs, a mesura que la temperatura de torrefacció augmenta, el carboni fix incrementa i els volàtils i el contingut d'humitat disminueixen.

7.7 Aplicacions tecnològiques: Pel·letització

La pel·letització de la biomassa és una opció interessant per millorar les propietats de biomassa per obtenir més uniformitat. La densificació mitjançant la pel·letització és considerada com una tecnologia provada per millorar les propietats de la biomassa per a la seva transformació a calor i electricitat. Els pèl·lets formats a partir de la biomassa torrada són molt interessants pel que fa al calor calorífic, la capacitat de mòlta, la combustió que té, l'emmagatzematge, el transport i la manipulació que els fan atractius com a reemplaçament del carbó a les centrals elèctriques existents. El Centre de Recerca de l'Energia dels Països Baixos (ECN) va desenvolupar l'anomenat procés de BO₂ (també es coneix com el **procés TOP** que significa *Torrified Wood Pellet*) en què es

processen els pèl·lets amb biomassa torrada. Així doncs, comparant-los amb els pèl·lets no torrats, mostren un millor comportament hidrofòbic, millor força, i major densitat.

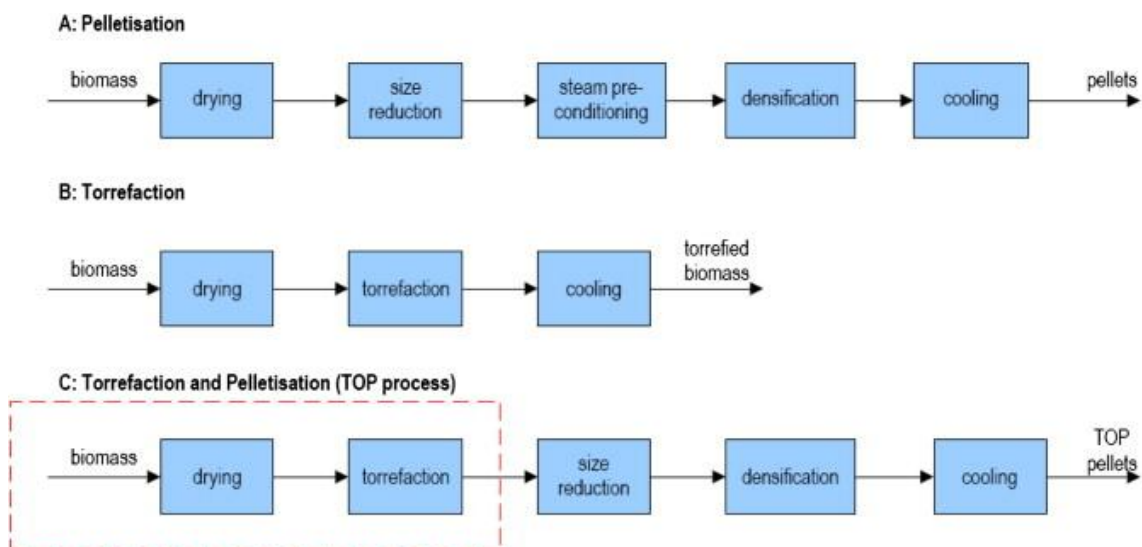


Figura 21. Pel·letització, torrefacció i procés TOP. Font: M.J.C. van der Stelt, H. Gerhauser, J.H.A. Kiel b, K.J. Ptasiński (2011). "Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review". Pag. 3757.

Com es pot observar en la **figura 21**, el procés de torrefacció comprèn diferents etapes, com ara l'assecatge, la torrefacció i la refrigeració. Tanmateix, el procés de pel·letització comprèn l'assecat, la reducció de mida, el condicionament previ del vapor, la densificació i la refrigeració. Combinant el procés de torrefacció i la pel·letització condueix a la introducció de la torrefacció dins la pel·letització i l'eliminació de l'etapa de condicionament del vapor en la pel·letització. Això ens dona el procés TOP com es pot veure en la figura anterior. L'avantatge que ens generen aquests pèl·lets torrats és que ens genera un millor comportament hidrofòbic, millor força, i major densitat que repercuteix en la major capacitat calorífica quan són cremats.

7.8 Potencial econòmic

Finalment després de l'explicació detallada del procés de torrefacció, la pregunta que ens hem de fer és si el cost de torrefacció pot ser compensat o no per la reducció de costos o l'augment del rendiment en altres parts de la cadena de subministrament. Les parts de la cadena de subministrament que solen ser beneficiades per la torrefacció són el transport, l'emmagatzematge i la conversió o utilització, mentre que el procés de torrefacció i la densificació s'afegeixen als costos.

Els beneficis en el transport, solament es veuran si la biomassa torrada és densificada, com els pèl·lets o les briquetes, en els quals el maneig és molt

més fàcil. D'altra manera, si no es densifica, és necessari d'un maneig i transport específic que s'afegirà i augmentarà els costos de transport. També, el fet que la biomassa torrada sigui hidrofòbica, fa que pugui ser emmagatzemada a l'exterior, sense la necessitat de construir un edifici per poder-la emmagatzemar. Tanmateix, cal dir que les pèrdues relatives de combustible (*shrinkage* o contracció) seran superiors en el cas d'emmagatzematge exterior que interior. De totes maneres, és necessari fer una comparació de pèrdua de combustible entre la biomassa torrada i la biomassa normal per diferents condicions d'emmagatzematge i clima.

Els beneficis d'utilització de la biomassa torrada respecte la biomassa general estan relacionats amb nivells superiors d'energia, menys contingut d'oxigen i menys contingut d'humitat. La biomassa torrada s'espera que serveixi millor que la biomassa sense processar per diferents aplicacions bioenergètiques, incloent la combustió, la gasificació i les aplicacions de combustible. Per exemple, la biomassa torrada és un combustible sòlid superior per la combustió especialment quan la cremem juntament amb el carbó degut a la seva densitat energètica superior i les propietats de maneig del carbó (**coal-like handling properties**). També s'espera de la biomassa torrada que proporcioni avantatges com a combustible per processos termoquímics, degut a l'eliminació d'àcids i de l'oxigen.

Per analitzar econòmicament la biomassa torrada, s'utilitza el que s'anomena "Techno-economic analysis" o TEA que fa un anàlisi econòmic que ens ajuda a comprendre el flux de material, l'eficiència i el cost. D'altra banda, hi ha diferents estudis publicats que examinen la factibilitat tecno-econòmica de la torrefacció. Un dels elements més analitzats, és la importació de biomassa des de Sud Amèrica a Europa on la torrefacció combinada amb la pel·letització proporciona un combustible de menor cost per el funcionament de màquines o per la producció de combustible comparada a la pel·letització sola. L'estalvi pot ser d'entre el 4 i el 16% depenent amb l'ús final de la biomassa. Altres estudis conclouen que el pre-tractament via torrefacció és més cost efectiu i ecològicament millor que l'ús de biomassa original. L'únic problema d'aquests estudis és que estan fets sense que hi hagi una recopilació de dades a escala comercial i que fan que s'hagi de suposar molt pel rendiment del sistema.

8. Revisió de l'estat actual de les tecnologies de conversió de biomassa a Catalunya

8.1 Projectes d'aprofitament de biomassa a Catalunya

Actualment a Catalunya tenim diversos projectes pel tractament de la biomassa, ja siguin de fusta, residus sòlids urbans, de closques de fruits... Depèn de l'àrea geogràfica de Catalunya on ens trobem utilitzarem un tipus de biomassa o una altra segons la quantitat d'aquesta que disposem i la viabilitat per poder-la tractar. A continuació, ens centrarem en diferents casos a nivell català.

Un dels primers casos el trobem a **Móra d'Ebre (Ribera d'Ebre)**¹² on s'utilitza la closca d'ametlla com a biomassa en una planta de gasificació per a la producció d'electricitat (**figura 20**). En funcionament industrial des de l'octubre de 1997, aquesta instal·lació, que té uns motors alternatius de 500 kW de potència, ha demostrat fiabilitat i flexibilitat tecnològica, i ha permès fer un estalvi anual de més de 500 Tep (tonelada equivalent de petroli) d'energia primària, evitant així l'emissió a l'atmosfera de 1.500 tones de CO₂.

El tancament d'una part de les indústries que consumien habitualment la closca d'ametlla com a combustible sòlid, afegit a l'increment del consum de gas natural, va comportar un gran excedent d'aquest residu combustible, que fins fa pocs anys era una font d'ingressos molt important en el balanç econòmic de les empreses dedicades al sector dels fruits secs. A partir d'aquí, va sorgir la idea de crear un sistema de gasificació que permetia treballar amb un reactor de petites dimensions, que oferia un alt rendiment energètic i era respectuós amb el medi ambient.

Així doncs, abans d'introduir la closca al reactor i per facilitar-ne el tractament, la closca es molia arribant a una mida aproximada de 4x4 mm. L'agent gasificant utilitzat és l'aire ambiental sense enriquir, que és preescalfat fins a 250°C abans de ser introduït al reactor a contracorrent amb el gas (que surt aproximadament a 700°C), amb l'objectiu d'optimitzar el rendiment energètic. El gas pobre que se n'obté és netejat i refredat perquè arribi en òptimes condicions al motor. Posteriorment es filtra el gas per eliminar-ne les substàncies sòlides, les restes de quitrà i aigua que poden ser elements contaminants pel medi ambient. El procés finalitza quan el gas pobre és barrejat amb l'aire de combustió dels motors dièsel, mescla que és comprimida al turbocompressor i introduïda a la cambra de combustió. Per aconseguir la ignició de la mescla, es manté un cert nivell d'injecció de gasoli, que representa entre un 5% i un 8% de l'energia incorporada al motor.

¹² ENERGIA demo. INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA. Generalitat de Catalunya Departament d'Indústria, Comerç i Turisme

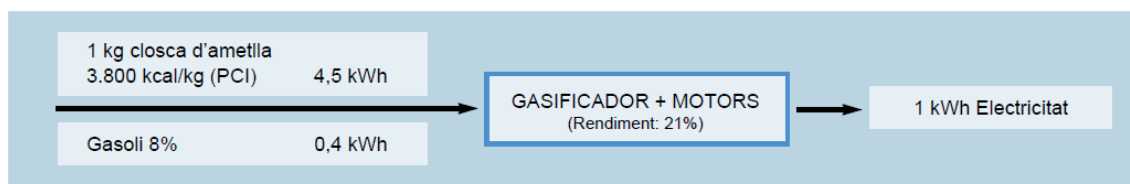


Figura 20. Rendiment energètic de planta de gasificació.

Font: ICAEN

Un altre cas el trobem a **Molins de Rei (Baix Llobregat)**⁹ on des de l'any 2000 es compta amb una central de generació d'aigua calenta a partir de la biomassa de 2.250 kW de potència tèrmica que, a hores d'ara, subministra calefacció i aigua calenta sanitària a 250 habitatges del sector. Amb els anys s'ha anat incrementant el número d'habitatges els quals es donaria subministrament, arribant vora els 700 l'any 2003. Això comporta un consum de biomassa de 2.200 tones anuals. Aquesta producció energètica suposa un estalvi d'energia primària d'uns 730 tep/any, i evita així l'emissió a l'atmosfera de més de 1.700 tones anuals de CO₂.

Els principals elements que integren la central de calor són una caldera de biomassa de 2.250 kW de potència tèrmica, capaç de produir aigua calenta a partir de la combustió de combustibles sòlids, i tres calderes modulars de gas natural que serveixen de suport en cas d'aturada de la caldera de biomassa o de puntes de consum. La biomassa és principalment closca d'ametlla, pinya picada i estella forestal.

La cambra de combustió té una graella mòbil refrigerada per aigua on la combustió de la biomassa té lloc en dues etapes. Per començar, s'asseca la matèria orgànica a mesura que el combustible avança per la graella mòbil de la cambra, on es desprenen els compostos volàtils i posteriorment es completa la combustió amb l'entrada d'aire secundari.

La caldera de biomassa aspira els gasos de la cambra de combustió i els fa circular tres vegades a través de la caldera perquè cedeixin la seva calor fins que arriben a 160°C de temperatura. D'aquesta manera, abans de ser expulsats a l'atmosfera, travessen un captador multiciclònic d'alta eficiència que separa les partícules de petita dimensió del flux dels gasos. Aquest procés genera aigua calenta que s'acumula en dos dipòsits de 100m³ i a partir d'aquí es bombeja aquesta aigua a la xarxa de distribució a una pressió de 2,5 bar. Les canonades estan formades d'acer inoxidable i recobertes per poliuretà que permet que l'aigua calenta no perdi pràcticament temperatura. Així doncs, aquesta aigua pot servir per al sistema de calefacció o la producció d'aigua calenta per la llar.

8.2 Projectes d'aprofitament de biomassa en curs a Catalunya

Fa relativament poc, la primera planta de calor de biomassa de **Caldes de Montbui (Vallès Oriental)** ja funciona. Aquest mes de març s'ha posat en marxa el projecte de distribució de calor de biomassa que l'Ajuntament ha tirat

endavant a la zona esportiva i escolar de les Cremades. Les obres van començar l'octubre de 2012, i fa tot just uns dies que les noves instal·lacions han començat a distribuir calor per a l'abastiment d'aigua calenta a l'escola El Farell i part del Complex Esportiu de les Cremades. Aquest sistema es converteix en la principal font de calor per als sanitaris i la calefacció de l'escola, el pavelló les Cremades i les piscines municipals. En un futur, la central podrà abastir també al pavelló de Torre Roja i al Camp de Futbol.

L'Ajuntament destaca que la nova instal·lació suposarà un estalvi econòmic de 49.949 euros l'any i un estalvi energètic de 178.560 MWh/any. També suposarà una reducció de les emissions de CO₂. Per tirar endavant aquest projecte, el Consistori ha optat per la modalitat de leasing amb una amortització prevista en 48 mesos. La planta té un cost de licitació de 406.387 euros i una quota mensual de partida de 8.466 euros. Això sí, l'Ajuntament ha aconseguit una subvenció de 100.000 euros de l'Institut Català de l'Energia (ICAIE) i la redacció del projecte ha estat finançada íntegrament per la Diputació.

Un cas actual també és el **d'Abantia i Comsa Emte**¹³ que han posat en marxa la central termosolar de les **Borges Blanques (Garrigues)**. La instal·lació, ha suposat una inversió de 153 milions d'euros, generarà una potència elèctrica anual de 98.000 MWh, equivalent al consum mitjà de més de 27.000 llars, segons han informat les empreses. Es tracta de la primera planta que combina energia termosolar i biomassa, amb una potència de 22,5 megawatts. El novembre va acabar la fase de proves (sincronització de la turbina) i ha entrat en funcionament aquest gener passat iniciant el subministrament d'electricitat a la xarxa.

La central disposa d'un sistema d'hibridació que permet un major aprofitament de la instal·lació, ja que la captació de rajos solars durant les hores de sol es complementa durant la nit amb el funcionament de la biomassa, el combustible principal serà la biomassa forestal, el cultiu energètic i els residus agrícoles. La planta suma 2.688 paràboles de per captar l'energia solar, cadascuna amb un diàmetre de 5,5 metres. La producció d'aquest tipus d'energia neta també suposarà un estalvi de 24.500 tones anuals de CO₂. Les obres van començar a principis de 2011 i han durat 20 mesos. En aquest termini, han treballat 350 persones i en el període d'explotació donarà feina a 30 persones directament i a 150 indirectament.

Un altre cas el trobem a **Barcelona ciutat (Barcelonès)**, exactament a la zona Franca. El 5 de febrer d'aquest any es va inaugurar la central d'energia tèrmica de la Zona Franca de Barcelona, que abasteix de serveis de calor i fred a aquesta àrea, Barcelona Sud i a la Gran Via de l'Hospitalet de Llobregat. És la principal central d'energia tèrmica de la xarxa de calor i fred d'Ecoenergies

¹³ www.abantia.com

Barcelona, que permet als edificis connectats tenir calefacció, aire condicionat i aigua calenta sanitària de forma respectuosa amb el medi ambient.

La posada en marxa d'aquesta central suposarà per Barcelona deixar d'emetre cada any 13.400 tones de CO₂ i una reducció de l'1% en la despesa d'electricitat. Les instal·lacions compten amb una planta de biomassa que aprofitarà 28.000 tones de residus procedents dels parcs i jardins de Barcelona, així com de zones forestals pròximes.

Dalkia Espanya és la empresa inversora i promotora d'altres projectes atractius en matèria energètica i econòmica. Quan el pla estigui completament finalitzat, proveirà a una àrea de 15 milions de metres quadrats. L'empresa, aposta per l'eficiència energètica, tan necessària en l'actualitat i el desenvolupament de xarxes de calor i fred. Aquest és un mercat encara emergent a Espanya, però que viurà un fort creixement en els propers anys, gràcies a la recent directiva europea d'eficiència energètica, que aposta de manera decidida per aquests sistemes de climatització.

L'empresa gestiona a Espanya més de 8.000 instal·lacions repartides en prop de 4 milions de metres quadrats i compta amb 4.307 megawatts de potència tèrmica instal·lada. La companyia vol reforçar la seva presència a Espanya en les centrals de cogeneració, un tipus d'instal·lacions que permeten un estalvi energètic mitjà del 29% respecte a l'obtenció de la mateixa energia per mitjans convencionals.

Pel que fa a la xarxa de Barcelona, els objectius principals seran l'eficiència energètica, la utilització de fonts d'energies renovables locals i la preservació del medi ambient així com posicionar Barcelona i Catalunya com a líders en solucions mediambientals.

Dalkia va guanyar el 2009 la licitació internacional organitzada per al disseny, la construcció, la gestió i el manteniment durant 30 anys de la xarxa de calor i fred de Barcelona i l'Hospitalet. Ecoenergies Barcelona, els accionistes principals dels quals són Dalkia i l'Ajuntament de Barcelona, és la societat responsable del projecte.

Les característiques tècniques de la central són diverses. El projecte comprèn l'operació de tres centrals d'energies (dos ja en funcionament) integrades en l'entorn urbà que mitjançant una xarxa de canonades, subministra energia tèrmica a clients residencials, industrials i del sector terciari (hospitals, oficines, centres esportius, col·legis etc) en una àrea de 15.000.000 m²: la central de la Zona Franca (inaugurada el dia 5 de febrer), la central de la Marina i la central del port de Barcelona (en fase de disseny). Amb el principal compromís de la preservació del medi ambient, la xarxa suposa una reducció de les emissions

de CO₂, així com una millora de l'eficiència energètica en comparació amb les solucions individuals de producció (exemple: caldera mural).

La potència màxima d'energia del projecte es basa en la producció de calor, fred i electricitat. La producció de calor convencional a 110 MW i a partir de biomassa a 10 MW. La xarxa valoritza 28.000 tones a l'any de biomassa procedent dels parcs i jardins de Barcelona, dels boscos de Catalunya i de cultius energètics. També s'aprofitarà la calor produïda per les plaques solars tèrmiques dels edificis connectats.

La producció de fred convencional a 68.5 MW, fred industrial a 12 MW, també 30 MW procedent de l'aprofitament del fred residual del procés de regasificació a la planta del Port i acumulació de gel 320 MWh.

Finalment la producció d'electricitat a partir de biomassa és de 2 MWe.

Hi ha tres centrals de producció d'energia tèrmica dissenyades per adaptar-se al ritme de creixement immobiliari, les dues primeres centrals construïdes (Zona Franca i la Marina) estan situades en els extrems de la xarxa.

La central de la Zona Franca és el cor de la xarxa. És on està ubicat el centre de control de la xarxa on s'analitza i processa en temps real les dades de totes les centrals, subestacions i xarxa de transport. Amb producció amb redundància en els equips d'alta eficiència, la central de la Zona Franca produeix electricitat, calor a 90 C, fred a 5°C i fred industrial a -10°C. La central compta amb una planta de biomassa que permet la generació d'electricitat i calor a partir de restes de poda dels parcs i jardins de Barcelona (residus agrícoles), de residus forestals (estelles) i de cultius energètics. També és on es farà l'emmagatzematge en els dipòsits de gel, del fred recuperat de la central de del Port.

La central de la Marina construïda inicialment per donar servei al barri de la Marina i al recinte firal passarà a ser una central de puntes i/o de reserva quan la xarxa troncal estigui connectada amb la central de la Zona Franca. La central del Port permetrà aprofitar el fred residual (fins a 30 MW) que ara es perd al port transportant a la central de la Zona Franca per al seu ús a la xarxa.

Un avantatge és la producció centralitzada que ofereix una xarxa de calor i fred enfront dels sistemes convencionals individuals de producció, permet incorporar tot el ventall d'energies primàries (renovables, residuals i fòssils). La utilització d'energies renovables i residuals permet la reducció d'emissions de CO₂. Tanmateix, la producció centralitzada també permet la incorporació dels avenços tecnològics en un sol punt sense necessitat de fer-ho en cada un dels edificis.

Així doncs, com acabem de comprovar, les tecnologies que s'estan aplicant actualment són de combustió i això, si ho comparem amb la instal·lació de la nostra futura planta podem afirmar que les tecnologies actuals no presenten un valor afegit com el que volem fer nosaltres. La nostra futura planta és un repte així com un procés innovador, ja que és una cosa que fins ara no s'ha fet i té un futur molt prometedor.

BLOC III – ANÀLISI I RESULTATS

9. Inventari i anàlisi dels usos de la biomassa a Catalunya





9.1 Biomassa forestal al mercat

Hi ha una gran varietat de combustibles sòlids que poden ser utilitzats amb usos tèrmics: restes de poda, estelles, pèl·lets, briquetes, ossos d'olives, closques de fruits secs (ametlles, pinyons), etc. Cadascuna té un determinat potencial energètic en funció de les seves característiques físiques, les quals també en condicionen l'ús i influeixen sobre la combustió.

Els tres tipus principals de combustibles que fan servir les calderes actuals de biomassa són les estelles, les briquetes i els pèl·lets, totes elles recollides a la **taula 10**, on també es mostren les seves característiques.

Les estelles provenen del fraccionament de la llenya, un procés que homogeneïtza el producte resultant i en facilita la combustió. Són, per tant, poc denses i tenen un rendiment energètic relativament baix en comparació amb els pèl·lets i les briquetes, dos combustibles que s'obtenen a partir de la compactació de la biomassa triturada (fusta, residus llenyosos, palla de cereals o barreja de residus lignocel·lulòsics), per la qual cosa tenen una densitat més gran. Això facilita el transport i abarateix els costos tant del transport com de l'emmagatzematge¹⁴.

Taula 10. Característiques de la biomassa forestal al mercat. **Font:** ICAEN

		Descripció	Densitat real	Poder calorífic	Cendres
	Llenya	Fàcil de trobar Humitat variable	350-700 kg/m ³	3-3,5 kWh/kg	<1,5%
	Estella	Provenen del fraccionament de la llenya	250-400 kg/m ³	1,5-4 kWh/kg	<1,5%
	Briquetes	Serradures comprimides de forma cilíndrica (5-13 cm de diàmetre i 5-30 cm de llargada). 10% humitat	1.000 - 1.300 kg/m ³	4,7-5 kWh/kg	<0,5%
	Pèl·lets	Serradures comprimides de forma cilíndrica (6-20 mm i 25-60 mm de llargada). 10% humitat	1.200 kg/m ³	4-5 kWh/kg	<0,5%

¹⁴ ICAEN. Institut Català de L'Energia, Biomassa forestal.

http://www20.gencat.cat/docs/icaen/06_Relacions%20Institucionals%20%20Comunicacio/04_Publicacions/Cultura%20Energetica/arxius/174_Biomassa%20forestal.pdf

9.2 L'estella

L'estella és el biocombustible primari per excel·lència, obtingut a partir del processament físic directe de la biomassa forestal. És el resultat de triturar llenya fins a obtenir uns petits fragments, la grandària dels quals no sol excedir els deu centímetres de longitud i els dos centímetres de gruix.

L'estella que procedeix de fusta de bosc (o biomassa forestal primària) s'obté quan es recullen restes del bosc en els aprofitaments forestals (no comercials, de productes sense qualitat), quan es fan tallades de millora o bé treballs de prevenció d'incendis. Així doncs, el fet d'aprofitar aquest material comporta reduir l'ús de combustible al bosc i, per tant, disminuir el risc d'incendi. Alhora, fa que augmenti la superfície gestionada i s'afavoreixen els usos i mercats dels productes que provenen del bosc. Aquest producte també s'anomena estella de gestió forestal sostenible. En canvi, l'estella industrial és la que prové de subproductes derivats d'indústries primàries de la fusta (les quals processen directament l'arbre o tronc que arriba del bosc) i d'indústries secundàries (que processen la fusta ja elaborada a les indústries de primera transformació, si bé en aquest segon cas la biomassa sol tenir impureses).

L'estella que procedeix d'aprofitaments forestals és un combustible natural amb una baixa densitat però amb una superfície específica superior a la de la llenya, per la qual cosa el temps d'inici de la combustió és inferior. A mesura que el seu contingut en humitat es redueix, lògicament augmenta el seu poder calorífic. L'aprofitament energètic de l'estella es pot fer directament en calderes individuals o centralitzades –tant de tipus domèstic com industrial-, o esmicolant-la prèviament per a obtenir un combustible més fi quan s'ha de fer servir en cremadors industrials que necessiten injectors, per exemple.

En general, la millor estella per a aquest ús és la que aporta tot el seu poder calorífic i té una humitat baixa, que no col·lapsa els sistemes d'alimentació i que no genera emissions

contaminants pel seu contingut en impureses. Actualment, no hi ha cap llei que obligui a comercialitzar estella amb aquestes característiques, per la qual cosa produir estella de bona qualitat depèn de la voluntat del productor.

A l'hora de plantejar l'aprofitament de l'estella, cal tenir en compte una sèrie de condicionants que influeixen sobre el seu potencial energètic: tipus de fusta -espècie d'arbre-, humitat, temps d'emmagatzematge, impureses, granulometria i percentatge màxim de cendres. La humitat és el factor més crític perquè també influeix sobre el pes de la fusta i, per tant, sobre el preu. Quanta més humitat conté la fusta, menys matèria seca hi ha per unitat de massa i menor és la calor subministrada; la quantitat d'aigua que cal evaporar també és més gran i la quantitat de calor aprofitable és més petita.

Després d'aquesta petita descripció de l'estella, mostrem en la següent **taula 11** els avantatges i inconvenients que presenta respecte altres materials però sobretot respecte el pèl·let, que és l'altre biocombustible més utilitzat¹¹.

Taula 11. Avantatges i Inconvenients de l'Estella.

Avantatges	Inconvenients
<ol style="list-style-type: none">1. Més econòmic que el pèl·let.2. Permet potenciar la gestió forestal dels boscos propers als centres de consum.3. És un producte local que pot dinamitzar les economies rurals.4. 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.	<ol style="list-style-type: none">1. Material més heterogeni (humitat, densitat, granulometria).2. Manipulació i transport més difícils.3. Necessitat d'accés fàcil per als camions en la descàrrega de l'estella.4. Sistemes d'alimentació més cars que fan que l'amortització sigui més llarga en instal·lacions petites.5. Necessitat de més espai per a la sitja.6. L'obra civil pot ser més costosa.

Font: Centre de la Propietat Forestal (CPF).

9.2.1 L'amortització de les calderes d'estella

Les calderes d'estella es comencen a amortitzar, respecte a les de gasoil, a partir de potències de calefacció de 35-40 kW. Per això, aquestes calderes són idònies en masies, calderes col·lectives, granges, instal·lacions esportives, centres educatius, indústries, xarxes de calor etc, ja que el factor clau per a la viabilitat econòmica de la inversió és el nombre anual d'hores de demanda de calor i la relació entre la demanda mitjana i la demanda màxima. L'elevada inversió inicial per adquirir una caldera d'aquest tipus, que sol tenir un preu entre dues i tres vegades el preu d'una caldera convencional, disposa d'ajuts de les institucions que oscil·len entre el 30 i el 50% de la inversió segons destinatari.

El cost de l'estella que procedeix del tractament directe de fusta de bosc és força superior al de l'estella subproducte industrial, ja que pot superar els 100 €/t, mentre que el segon oscil·la entre els 30 €/t i els 50 €/t. Tanmateix, l'estella que prové d'un aprofitament forestal té un valor afegit social i mediambiental, ja que ajuda a prevenir incendis forestals, afavoreix una gestió forestal sostenible i crea nous llocs de treball a la zona, fixant la població. La transformació d'aquesta fusta en estella a prop del bosc en facilita el transport i en redueix els costos en comparació amb les branques i troncs sense triturar. A la **taula 31** situada a l'apartat **A** de l'**Annex** trobem les calderes d'estella en equipaments municipal instal·lades a Catalunya (2009).

Pel que fa a la producció, consum i exportació de l'estella pel seu ús per obtenir energia, tenim en la **taula 12**, que s'adjunta a continuació, les dades provisionals de l'any 2012 que es poden considerar com a definitives. A més, la **taula 33** que adjuntem a l'apartat **B** de l'**Annex**, s'especifiquen els productors d'estella a Catalunya. Aquests productors però, no solament produeixen estella sinó que també altres tipus de biomassa.

Taula 12. Mercat de la biomassa ^{*1} amb destinació energètica a Catalunya 2012 (dades provisionals)

Mobilització de fusta amb valorització energètica	Consum a Catalunya	Exportació
196.302 tones ^{*2}	61.302 tones (31%)	135.000 tones (69%) (Itàlia)

Font: CPF. Enquesta realitzada al sector.

*1 Únicament es considera la biomassa que es comercialitzarà en forma d'estella.

*2 No s'han comptabilitzat les tones d'autoconsum produïdes en les finques forestals. No es disposa de dades

Les 196.302 tones mobilitzades a Catalunya representen un 28% dels aprofitaments, estimant que els aprofitaments a Catalunya l'any 2012 seran de 485.000 tones. D'aquestes 196.302 tones, 61.302 s'utilitzen pel consum a Catalunya, de les quals, 13.802 t (22%) són per ús domèstic o per calderes domèstiques i les 47.500t (78%) restants utilitzades per calderes industrials (cogeneració).

Si comparem els percentatges d'ús domèstic i d'ús industrial, veiem que l'últim és major que el primer (78% per 22%). Podem dir, que les calderes d'estella estan poc introduïdes a les llars catalanes per ús domèstic, per dos motius ben clars.

El primer motiu és el consum que implica en cada una d'elles. Les calderes d'estella són generalment per ús industrial o grans instal·lacions (masies, granges, instal·lacions esportives...), ja que es necessiten grans quantitats o consum que impliquen un nombre anual de demanda de calor. En canvi, a nivell domèstic, no es necessiten grans quantitats per escalfar una llar i es molt més eficient el pèl·let, tot i que també està costant la seva introducció a les llars catalanes.

A més a més, cal afegir que l'estella és més econòmica que el pèl·let, degut al seu menor poder calorífic i el seu major nivell d'humitat, i això implica a la indústria o instal·lació menors costos. Tot això, alhora, ve unit a que les calderes més utilitzades en ús domèstic són les de pèl·let ja que es necessita

poca quantitat de producte o el que és el mateix, poc consum al tenir una densitat energètica alta malgrat ser més car que l'estella.

Un segon punt, comprèn un tema d'espai per poder instal·lar una sitja on poder emmagatzemar la biomassa amb tot l'equipament necessari per fer-la funcionar. Aquest espai, en molts casos, és disponible a indústries, masies, granges...i no en cases domèstiques.

Finalment, val a dir, que l'ús de la biomassa com a generadora d'energia és una energia renovable "recent" pel que fa a la coneixença d'aquesta per la societat i és difícil canviar la mentalitat de la societat alhora de canviar les energies amb les quals vivim el dia a dia.

9.3 Pèl·let

El pèl·let és un dels biocombustibles obtinguts a partir del tractament de la biomassa, i que es pot utilitzar tant en l'àmbit domèstic -calefacció i escalfament d'aigua calenta sanitària com en l'àmbit industrial i de generació d'electricitat. La seva demanda ha anat en augment a Catalunya en els darrers anys, tot i que el seu ús encara se situa molt per darrera del d'altres països europeus. A països com Suècia, França, Àustria, Finlàndia, Dinamarca, Alemanya o Itàlia, el consum fins i tot supera el de la seva capacitat de producció (Suècia, per exemple, produeix uns dos milions de tones anuals, mentre que Àustria i Alemanya produeixen 0,7 milions de tones, i Itàlia, 0,5 milions). A la **taula 32** situada a l'apartat **A** de l'**Annex**, trobem les calderes de pèl·let en equipaments municipals instal·lades a Catalunya (2009).

El procés de producció dels pèl·lets és molt senzill: la tecnologia consisteix en compactar la biomassa triturada aplicant-hi pressió; se n'eliminen les impureses com ara la sorra, les pedres o els metalls; s'asseca el producte i se'n redueix la humitat; i, finalment, se li dona forma en una pel·letitzadora. El rendiment de la pel·letització varia en funció del diàmetre del producte i la utilització o no d'additius, així com també de les condicions de granulometria i d'humitat de la matèria primera.

El producte sòlid generat té forma cilíndrica (un diàmetre variable entre 6-22 mm i una longitud entre 20-600 mm), i un comportament semblant al d'un fluid. També es pot transportar de la mateixa manera com es fa amb els combustibles fòssils, per la qual cosa és una bona alternativa al gasoil de calefacció. És un producte apropiat per a petites instal·lacions domèstiques individuals o col·lectives de fusta o carbó, i permet automatitzar l'alimentació del combustible. Les calderes petites de gasoil es poden convertir en instal·lacions de pèl·let canviant el cremador i afegint un sistema d'emmagatzematge addicional¹¹. Els seus avantatges i inconvenients els veiem resumits a la **taula 13**.

Taula 13. Avantatges i Inconvenients del Pèl-let.

Avantatges	Inconvenients
<ol style="list-style-type: none">1. Més poder calorífic que l'estella.2. Característiques d'humitat, densitat i granulometria constants i homogènies.3. Facilitat de transport i de manipulació.4. En sitges instal·lades en espais de difícil accés, més facilitat de descàrrega.5. Necessitat de menys espai per a la sitja. Fàcil emmagatzematge del pèl-let en contenidors flexibles o en sacs de 15 kg.6. Més flexibilitat i cost més baix en els sistemes d'alimentació de la sitja a la caldera.7. El baix cost del pèl-let amortitza el cost inicial de la instal·lació.	<ol style="list-style-type: none">1. 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.

Font: Centre de la Propietat Forestal (CPF).

9.3.1 Especificacions tècniques per a usos domèstics

Tot i els diferents tipus de pèl-lets, hi ha un estàndard europeu que fan servir la majoria de fabricants, tant d'aquest combustible com de calderes, i que té les característiques següents:

Densitat mitjana: 700 kg/m^3 , un valor que és superior al de les estelles ($200\text{-}300 \text{ kg/m}^3$). Aquesta densitat ofereix al producte una gran durabilitat i facilitat de transport i emmagatzematge.

- Contingut baix d'humitat: 6-8%
- Poder calorífic elevat: 4.500-5.000 kcal/kg, equivalent aproximadament a la meitat que el del gasoil; és a dir, **dos quilograms de pèl-lets equivalen a un litre de gasoil**.
- Contingut en cendres baix: entorn del 0,5%, cosa que redueix les operacions de neteja i manteniment dels equips.
- Superfície específica alta, cosa que redueix la temperatura d'ignició i optimitza les fases de combustió.

A part dels beneficis ambientals associats a l'ús sostenible d'aquest recurs renovable, un dels avantatges que cal destacar del pèl·let com a biocombustible és el preu. A diferència del gasoil, el preu del qual depèn del comportament internacional del barril de petroli, el del pèl·let està condicionat només per l'índex de preus al consum; això fa que el cost del biocombustible arribi a ser fins a un 40% inferior al del gasoil amb uns rendiments energètics en calderes superiors al 90%. Actualment, oscil·la entre els 0,16 i 0,21 €/kg¹¹. En la **taula 14** que s'adjunta a continuació es mostra la Producció, Consum i Exportació del pèl·let a Catalunya.

Taula 14. Mercat de Pèl·let a Catalunya el 2012.

Producció a Catalunya 2012	Consum a Catalunya	Exportació
9.000 tones (Potencial 25.000 t)	5.000 tones (50%)	4.000 tones (50%) (Itàlia)

Font: David Pizá ENERBIO i Rebrot i Paisatge.

Cal destacar, la gran quantitat de material que s'exporta, fent valer l'afirmació que el seu ús se situa molt per darrera del d'altres països europeus malgrat que la demanda ha anat augmentant en els darrers anys. Això ho podem corroborar amb l'anàlisi posterior que es farà.

9.4 Anàlisi dels usos de la biomassa a Catalunya

Un cop vist en l'anterior apartat els avantatges i inconvenients dels diferents tipus de biomassa al mercat i de dades significatives de cada un, farem un anàlisi dels usos que tenen en el territori català.

A la **figura 24** s'il·lustra el percentatge de producció dels diferents tipus de biomassa a Catalunya. S'ha fet un recompte de totes les empreses productores de biomassa i se les ha classificat per quin tipus de biomassa produïen. Així doncs, hi ha una llarga llista de productors d'estella (**taula 33, punt b Annex**), que representa un 37,63% de la producció dels diferents tipus de biomassa a tota Catalunya. Malgrat tot, una gran quantitat de les empreses produeixen llenya, amb un percentatge del 45,16%, ja que és el més bàsic i econòmic de produir. Cal destacar, la poca producció de pèl·let a Catalunya amb un 2%, que no vol dir que el subministrament i comercialització sigui molt major. Moltes empreses, es dediquen al subministrament i comercialització i no a la producció, i és el que ens mostra aquest percentatge ínfim comparant-lo amb altres tipus de producció de biomassa. Una possible raó d'aquesta poca producció és el fet que és relativament costosa. Per acabar, comentar que les restes de poda signifiquen un 13,98% i les briquetes un petitíssim 1% de la producció total.

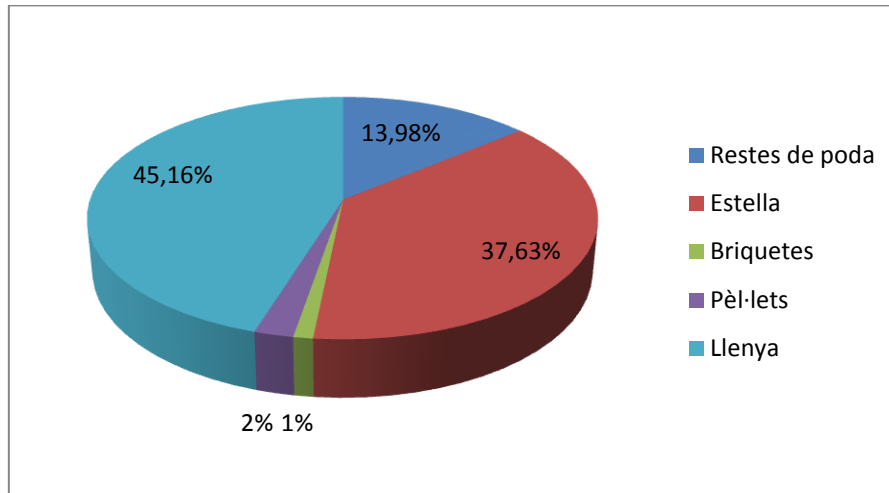


Figura 23. Percentatge de producció dels diferents tipus de biomassa. **Font:** Elaboració pròpia.

A diferència de la figura anterior, a la **figura 24** mostrem el percentatge de subministrament i comercialització dels diferents tipus de biomassa a Catalunya. Com podem observar, tots els percentatges estan més equilibrats que no pas en la producció, on l'estella i la llenya encapçalen el grup. Malgrat tot, el més comercialitzat és l'estella amb un 34,85% seguit de la llenya amb un 33,33% i posteriorment el pèl·let amb un 18,18%, que veu incrementada la seva quota de mercat si la comparem amb el percentatge produït, que és del 2%, una diferència de 16,18%.

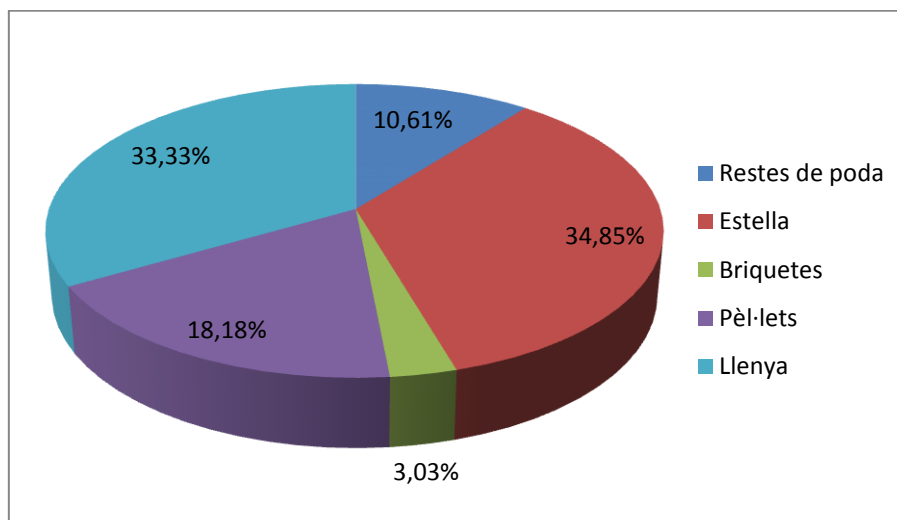


Figura 24. Percentatge de subministrament i comercialització dels diferents tipus de biomassa.

Font: Elaboració pròpia.

Podem concloure doncs, que tant l'estella com la llenya són els tipus de biomassa que encapçalen la producció, subministrament i comercialització afegint el pèl·let a l'últim grup. De la llenya podem dir que és el tipus de

biomassa més fàcil de “produir” ja que tan sols s’ha de tallar i ja es pot comercialitzar, és a dir, no requereix pràcticament cap processament. Pel que fa a l’estella, és el tipus de biomassa produïda més utilitzada per les calderes, principalment industrials i per a equipaments municipals. En els últims anys però, el pèl·let ha anat guanyant lloc en la quota de mercat i això ens ho indica que ocupa la tercera posició de la biomassa comercialitzada amb un 18,18%. Una bona raó, podria ser el fet de la instal·lació de calderes de pèl·let per ús domèstic, on es necessita poc consum.

Val a dir, que no hem diferenciat els diferents tipus d’estella en els gràfics, és a dir, entre estella industrial i estella de gestió forestal sostenible (BFP).

Un cop fet l’anàlisi dels percentatges de producció, subministrament i comercialització ens toca fer una comparativa de les dades de producció a Catalunya, consum propi i exportació. Les dades de la **taula 15**, que s’adjunta a continuació, ens mostra les xifres de producció, consum i exportació d’estella i pèl·let durant els anys 2009, 2010 i 2012 a Catalunya. S’ha cregut necessari fer un anàlisi de cinc punts en concret que són:

- Evolució de l’estella del 2009 al 2012
- Evolució del pèl·let del 2009 al 2012
- Comparativa estella-pèl·let any 2012
- Comparativa estella-pèl·let any 2010
- Comparativa estella-pèl·let any 2009

Taula 15. Producció, consum i exportació d’estella i pèl·let a Catalunya.

ANY 2012			
	Producció a Catalunya (tones)	Consum a Catalunya (tones)	Exportació (tones)
Estella	196.302t ^{*2}	61.302t (31%)	135.000t (69%) (Itàlia)
Pèl·let	9.000t (potencial: 25.000 t)	5.000t (50%)	4.000t (50%) (Itàlia)
ANY 2010			
Estella	85.000t	15.000t (17%)	70.000t (82%) (Itàlia)
Pèl·let	10.000t	2.000t (20%)	8.000t (80%) (Itàlia i França)
ANY 2009			
Estella	48.700t (potencial: 200.000t)	8.700t (17%)	40.000t (83%) (Itàlia) Planta elèctrica
Pèl·let	10.000t (potencial: 60.000t)	2.000t (20%)	8.000t (80%)

Font: Apropellet i Centre de la Propietat Forestal.

Així doncs, si fem una evolució/comparació de l'estella durant aquest interval d'anys (2009 al 2012), agafant les dades disponibles de la **taula 15** veiem com:

1. La producció, consum i exportació d'estella ha augmentat any rere any fins arribar a màxims l'any 2012. En producció, s'ha passat d'unes 48.700 tonelades l'any el 2009, passant per 85.000t l'any 2010 fins les 196.302t de l'any 2012, si bé les del darrer any són dades provisionals (si bé es poden agafar com a definitives). Això significa un increment del 303% (del 2009 al 2012). Cal remarcar que el potencial de producció d'estella l'any 2009 era de 200.000t, que s'assoleix pràcticament el 2012 amb unes 196.302t produïdes.
2. Pel que fa al consum d'estella, s'ha passat d'unes 8.700t l'any 2009, passant per 15.000t l'any 2010 fins les 61.302t l'any 2012. Això significa un increment del 604% (del 2009 al 2012).
3. Pel que fa a l'exportació, s'ha passat d'exportar 40.000t l'any 2009, passant per 70.000t l'any 2010 fins les 135.000t l'any 2012. Això significa un increment del 237.5% (del 2009 al 2012). Val a dir però, que el percentatge exportat (no les tones) és inferior el 2012 si el comparem amb el dels anys 2010 i 2009. Per tant, l'any 2012 s'exporta menys en percentatge i això significa que hi ha més estella destinada al consum del territori Català.
4. Les possibles raons en l'augment de la producció, consum i exportació és l'expansió de la utilització de les energies renovables amb l'arribada de la crisi econòmica a Espanya i conseqüentment a Catalunya. També, hi ha una major coneixença de la gent d'aquestes energies poc contaminants i en el cas de l'estella concretament, més econòmica que el gasoil que està subjecte a grans canvis de preu.

La comparació del pèl·let durant el període d'anys esmentat agafant les dades disponibles de la **taula 15** ens fa veure com:

1. La producció s'ha mantingut en 10.000t del 2009 al 2010 però ha disminuït el 2012, arribant a les 9000t, tot i que creiem que són superiors. Aquesta reducció significa una reducció del 11.1%. Cal remarcar que el potencial de producció de pèl·let l'any 2009 era de 60.000t, i el 2012 de 25.000t quedant-se molt lluny els dos anys d'aquesta xifra.
2. Pel que fa al consum de pèl·let a Catalunya, s'ha mantingut en 2.000t de l'any 2009 al 2010, incrementant fins les 5.000t l'any 2012, si bé ja hem comentat en el punt 1 que les tones de pèl·let produïdes són inferiors. Això significa un increment del 150% (del 2009 al 2012). Cal remarcar però, que l'any 2012 al haver-hi menys pèl·let produït, s'ha destinat més tones al consum del país que no pas a l'exportació. Això ens indica de l'increment de la demanda d'aquest tipus de biomassa respecte anys anteriors.

3. Per acabar, l'exportació s'ha mantingut en 40.000 exportades del 2009 al 2010, disminuint aquesta xifra l'any 2012, amb un total de 4.000 t el que significa una reducció del 50%.
4. Les possibles raons de la disminució en la producció no s'entenen massa si bé creiem que al ser dades provisionals, falta sumar tonelades en la producció que faria augmentar les xifres de consum i exportació. Del que sí podem extreure com a conclusió és l'augment de la demanda de pèl·let a casa nostra, ja que les tonelades i el percentatge que es destina el 2012 (5.000t i 50%) és molt superior al de l'any 2009 i 2010 (2.000t i 20%).

Si comparem l'estella i el pèl·let en l'actualitat, agafant les últimes dades disponibles de la **taula 15** que són les de **2012** veiem com:

1. La producció/mobilització de fusta amb valorització energètica segueix sent superior en l'estella que en el pèl·let, amb 196.302t produïdes d'estella per 9.000t de pèl·let.
2. Una dada significativa però, és que del total produït/mobilitzat, el percentatge que es consumeix a Catalunya és superior en el pèl·let que en l'estella si bé hi ha més tonelades d'estella.

Si comparem l'estella i el pèl·let l'any **2010**, agafant les dades disponibles de la **taula 15** veiem com:

1. La producció/mobilització de fusta amb valorització energètica és superior l'estella que el pèl·let.
2. Una gran part de la producció d'estella i pèl·let és exportada cap a Itàlia i França ja que aquí, com es pot veure el 2010, era una tecnologia que iniciava el seu camí en comparació altres països on ja estava més desenvolupada i ja es posava en pràctica.

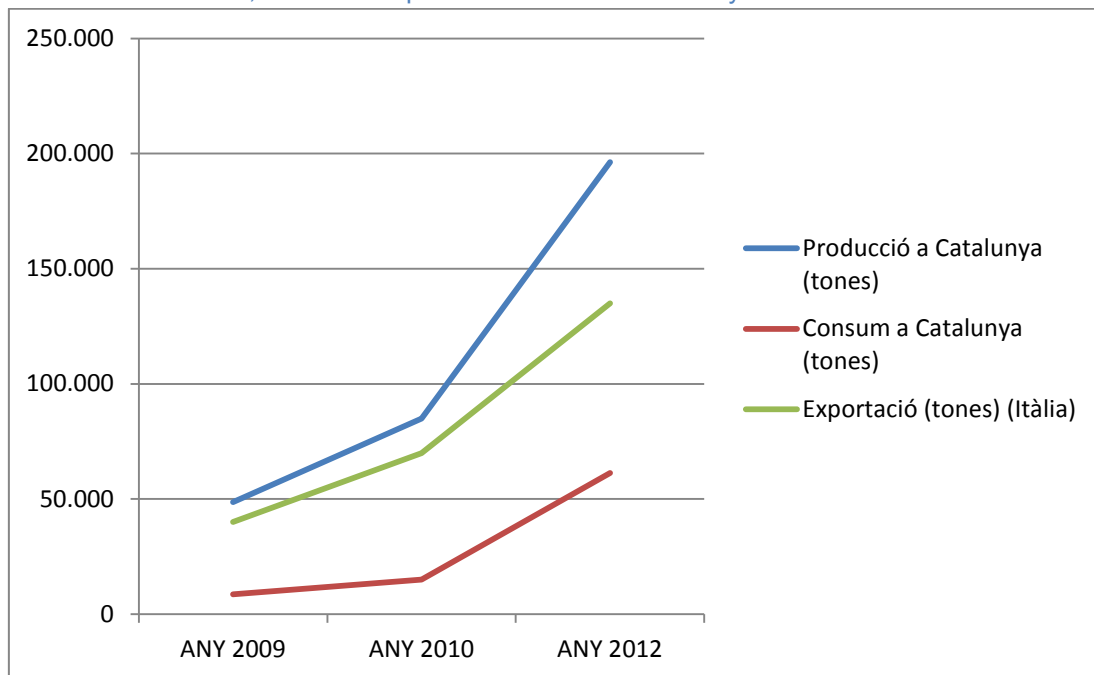
Si comparem l'estella i el pèl·let l'any **2009**, agafant les dades disponibles de la **taula 15** veiem com:

1. La producció/mobilització de fusta amb valorització energètica és superior l'estella que el pèl·let.
2. Una gran part de la producció d'estella i pèl·let és exportada cap a Itàlia ja que aquí, com es pot veure el 2009, era una tecnologia que iniciava el seu camí en comparació altres països on ja estava més desenvolupada i ja es posava en pràctica.

Per acabar aquest anàlisi, inclourem un parell de gràfics generats a partir de les dades de la **taula 15** que ens ajuden visualment a entendre millor les evolucions de producció, consum i exportació d'estella i pèl·let a Catalunya entre l'any 2009 i el 2012. L'any 2011 no està inclòs ja que no hi ha dades

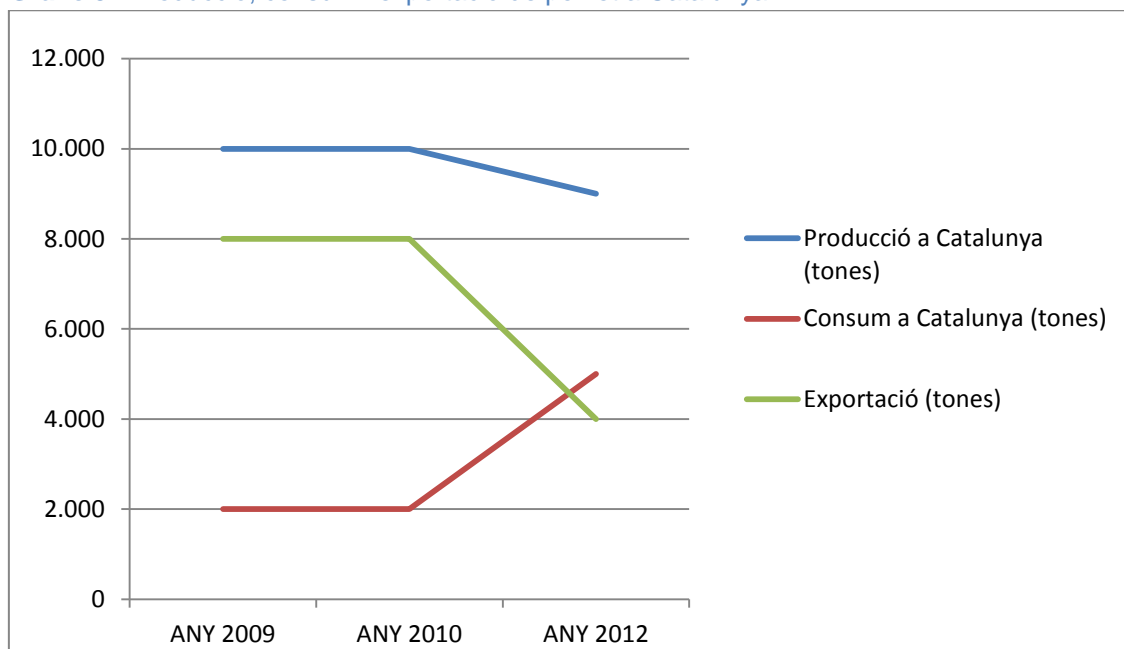
disponibles al respecte. Els **gràfics 2 i 3** ajuden a reafirmar tot el que s'ha comentat a l'anàlisi.

Gràfic 2. Producció, consum i exportació d'estella a Catalunya.



Font: Elaboració pròpia.

Gràfic 3. Producció, consum i exportació de pèl·let a Catalunya



Font: Elaboració pròpia.

Un cop vist les diferències de producció, consum i exportació entre el pèl·let i estella, la **taula 16** il·lustra les diferències intrínseques que presenta cada una respecte l'altre.

Taula 16. Característiques físiques i comercials entre l'estella i el pèl·let.

	Estella	Pèl·let
Longitud	3-5 cm	2-4 cm
Poder calorífic inferior (PCI)	3,5 KWh/kg o 3.010 Kcal/kg 12,54 MJ/kg	>5 KWh/kg o 4.321 Kcal/kg 18 MJ/kg (16-18)
Humitat	30%	<10%
Densitat aparent	280 kg/map	>650 kg/m3
Diàmetre		
Preu	<p>Molt variable segons: Origen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Humitat • Granulometria G30, G50 • Heterogeneïtat de l'estella • Distància de transport <p>De 65 €/t a 90 €/t (sense ports). El preu va lligat a la qualitat. Baixos preus poden comportar problemes en les calderes.</p> <p>3 kg d'estella seca aporten la mateixa energia que 1 litre de gasoil</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1 sac de 15 Kg = 4,5 €/sac (IVA inclòs i sense transport) • 1 palet (70 sacs aprox.) = 4,8 €/sac (IVA inclòs i amb transport inclòs) • A granel, exemple 3 tones = 265 €/t (IVA inclòs i amb transport inclòs) • Grans consumidors, exemple 15 tones = 220 €/t (IVA inclòs i amb transport inclòs) <p>2/2,1 kg de pèl·let aporten la mateixa energia que 1 litre de gasoil</p>

Font: Centre de la Propietat Forestal (CPF) i elaboració pròpia.

Així doncs i com a conclusió:

1. L'estella es genera a partir de d'aprofitaments forestals (biomassa forestal del bosc) com poden ser capçades i troncs i també a partir de restes dels subproductes de la indústria de transformació: costers, serradures, encenalls. En canvi el pèl·let es fabrica a partir de subproductes de la indústria de la fusta (serradures, encenalls, pols serrada) compactats a alta pressió.
2. La diferència d'humitat (30% estella i <10% el pèl·let) fa que a mesura que el seu contingut en humitat és inferior, augmenta el seu poder calorífic. Per tant, observant el Poder Calorífic Inferior (PCI) que té en compte la humitat el pèl·let és més apropiat que l'estella ja que té més poder calorífic, pot donar més calor (4.321 Kcal/kg per 3.010 Kcal/kg).
3. L'estella, com es pot observar en la taula anterior és més econòmica que el pèl·let, de 65 €/t a 90 €/t. El cost del pèl·let es situa en uns 265 €/t a granel i això fa que sigui menys competitiu econòmicament no solament davant l'estella sinó que també davant del gas, sobretot en instal·lacions petites. Val a dir però, que una de les grans diferències d'ús entre un i altre és per quin tipus d'instal·lació s'utilitzen. L'estella s'utilitza més en indústries ja que és més econòmica però es necessita grans consums i per tant grans espais per emmagatzemar-la (sitja) i el pèl·let, en canvi, necessita petits consums perquè té molt poder calorífic i poc espai i és més propensa per a llars.

10. Descripció d'una planta de biomassa de cargol sense fi (auger reactor)

El nostre estudi econòmic i els escenaris que plantejarem a continuació (**11. Escenaris d'aprofitament de la biomassa**), tant a nivell local com comarcal, tenen en comú la utilització d'una planta de piròlisi amb cargol sense fi.

Les diferents parts que ens trobem a la planta de cargol sense fi que processa biomassa són les següents: (1) *feeding hopper* o alimentació de la tremuja, (2) nitrogen flow o flux de nitrogen, (3) *feeding auger conveyer*, (4) *auger reactor* o reactor, (5) *furnances* o forn, (6) *Reactor closure System* o sistema de clausura del reactor, (7) *vessel for sòlids* o contenidor pels sòlids, (8) *condensing system* o sistema de condensació, (9) *liquid condensing system* o sistema de condensació líquida, (10) *gas expanders*, (11) *gas sampling valve* o vàlvula de mostreig de gas i (12) *gas burner* o cremador de gas. En aquest apartat explicarem les més importants¹⁵.

Primer de tot ens trobem un ***feeding hopper* o alimentació de la tremuja** que el que fa és alimentar el reactor de la biomassa, sempre a una velocitat controlada i determinada. El *hopper* o tremuja inclou en sí mateixa la característica d'impedir que la biomassa s'obstrueixi i no en permeti l'accés de la mateixa al reactor⁵.

Així doncs, un cop les estelles de biomassa s'introdueixen al *feeding hopper*, arriben al ***auger reactor* o reactor** a través del *feeding auger conveyer*. Les estelles es mouen a través del reactor mentre es van descomposant cap a un residu sòlid i a un producte gasós, el qual arriba al **sistema de condensació** per la convecció natural amb l'ajuda del gas portador (nitrogen). Els **forns elèctrics** hauran estat els encarregats d'escalfar el reactor per poder cremar la biomassa. Les grans avantatges del *auger reactor* és la seva robustesa, flexibilitat i versatilitat a més de ser molt utilitzat en la indústria actual.

A partir d'aquí, el residu sòlid es refreda mitjançant un circuit d'aigua freda i cau a un contenidor que el conté. Aquest residu sòlid ja és biochar.

El procés continua i els gasos condensables, és a dir, que es poden condensar, són condensats i emmagatzemats a un contenidor líquid després de caure per gravetat. El **condensador** consisteix en tubs, d'1 metre de llarg. El gas es mou a contracorrent de l'aigua per l'interior dels tubs, i d'aquesta manera es condensa i precipita. Finalment, els gasos no condensables a temperatures ambientals es transporten al **gas burner** o **cremador de gas** on combustionen abans d'arribar a l'atmosfera.

¹⁵ PUY, N (2010). Integrated Sustainability of innovative uses of forests biomass. Bio-oil as energy vector.

Un cop explicat les parts més importants de la planta de biomassa, hi ha exemples en l'actualitat com és el cas de Biogreen. Biogreen és una de les empreses més avançades en el tema de la conversió de biomassa, plàstics i fangs de les depuradores a char o biochar, bio-oli i gas. Aquesta empresa francesa d'enginyeria es dedica a la conversió termoquímica de biomassa, plàstics i residus. Inclou un sistema de piròlisi exclusiu i patentat que extreu substàncies útils per a ser utilitzades com una font d'energia o un producte renovable per a aplicacions químiques "verdes". En la figura 25, que mostrem a continuació es mostra la planta de Biogreen que ens pot servir també per l'explicació feta anteriorment d'una planta de piròlisi.

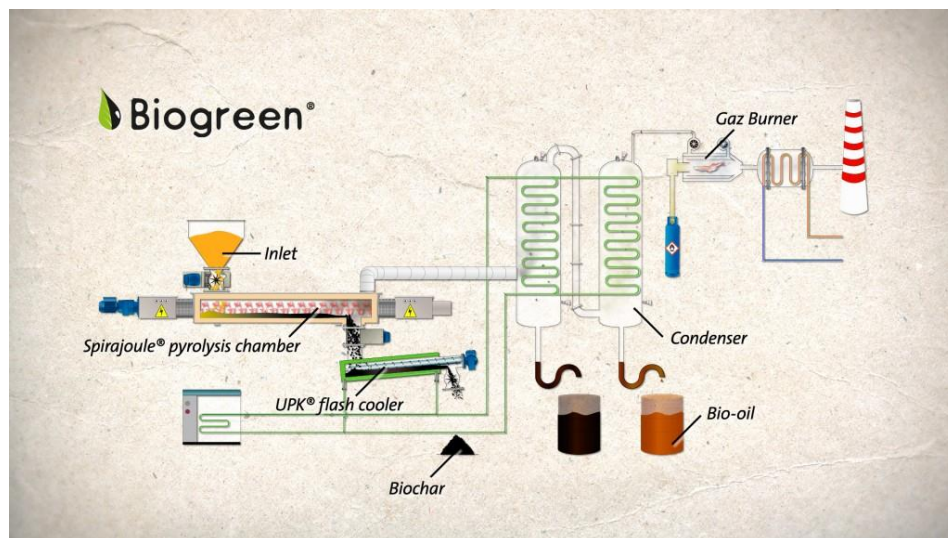


Figura 25. Planta de biomassa de l'empresa francesa Biogreen. **Font:** <http://www.biogreen-energy.com/>

Biogreen és capaç de convertir la fusta, la palla, residus de cereals, residus plàstics o pneumàtics, llots d'aigües residuals o llots de metanització... en oli, char i gas.

La companyia francesa té en el *pyrolizer Spirajoule* el seu pal de paller. El *Spirajoule* és un procés exclusiu pel tractament tèrmic. Aquest element patentat, està dissenyat amb un voltatge baix i escalfat elèctricament de transportador de cargol sense fi. El cargol escalfa el producte com a resultat de l'efecte Joule. La temperatura del producte es controla amb precisió basat en l'ajust de la temperatura d'escalfament del cargol.



Figura 26. El "pyrolizer" Spirajoule.

Font: <http://www.biogreen-energy.com/>

11. Escenaris d'aprofitament de la biomassa

11.1 Introducció

Un cop fet l'inventari i vist els avantatges i inconvenients que presenten l'estella i el pèllet i la distribució que tenen aquests juntament amb altres tipus de biomassa pel que fa a la seva producció, subministrament i comercialització, és hora de veure els escenaris d'aprofitament de la biomassa a nivell local i a nivell comarcal. A més de veure els diferents escenaris d'aprofitament, també farem un anàlisi econòmic per veure si aquets escenaris són econòmicament viables en funció de diverses variables com la quantitat de tones/any de biomassa que es processa, el temps de treball de les plantes, els costos (fixos i variables) que té la planta, etc.

Que Catalunya és un país de boscos, és una afirmació que es pot argumentar amb xifres. La superfície total de Catalunya és de 3.193 en milers d'hectàrees. La superfície forestal és de 1.961 milers d'hectàrees del total i representa el 61,4% de la superfície total. Això vol dir, que el sector forestal hauria de ser important pel que fa a la contribució al PIB català i a l'economia del país. Malgrat tot, només cal mirar les xifres per adonar-se que no és així. El sector forestal com a sector econòmic no aporta més que el 4,28% del PIB de Catalunya; si tenim en compte que dues terceres parts del territori català estan definides com a territori forestal, tenim una idea clara de la poca productivitat d'aquest sector.

Poca importància s'ha donat en les darreres dècades a casa nostra a la fusta. De fet, quan es parla d'un potencial a Catalunya de 73.499,4 milers de tones/any¹⁶ de producció llenyosa aèria total desaprofitada, més del 35% del territori català són boscos, recents estudis parlen que només al Montseny i al Montnegre-Corredor hi ha un equivalent anual de més de 140.000 tones de petroli (tep), i tot a punt de cremar en un mal estiu, vol dir que hi ha alguna cosa que no estem fent gens bé, encara avui no hem sabut trobar una alternativa real i viable i/o complementària als usos tradicionals de la fusta.

Així doncs, buscant una possible solució que sigui viable es plantejarà dos escenaris per l'aprofitament de la biomassa que tenim a Catalunya: una a nivell municipal i l'altre, a nivell comarcal.

11.2 Escenaris d'aprofitament segons el producte final. **Consideracions prèvies**

L'objectiu d'aquest apartat és explicar de quina manera es faria la implementació d'una planta de processament de biomassa i veure'n els escenaris futurs segons el producte final que tinguem.

¹⁶ ICAEN. Institut Català D'Energia,

En aquest cas, a través del tractament termoquímic de la piròlisi, obtindrem uns productes determinats segons el tipus de piròlisi que hi apliquem, com el biochar (carbó vegetal) o el bio-oli. La matèria primera que serà utilitzada és biomassa en forma d'estella. Pel que fa a l'estella, val a dir que la planta **no** acceptarà biomassa (estella) amb més del 10% d'humitat, el que significa que haurem de comprar-la amb un percentatge adequat d'humitat o bé pretractar-la mitjançant el procés d'assecat/torrefacció si aquesta excedeix el percentatge d'humitat que accepta la planta.

Així doncs, com hem comentat anteriorment, veurem si és viable la implementació d'aquesta planta de processament de biomassa a nivell municipal i comarcal amb diferents paràmetres que ens determinaran la viabilitat de la planta.

Per veure'n la viabilitat econòmica localment o en una comarca, farem variar diferents paràmetres que trobem a la **taula 17** i que són: els dies de treball a l'any i les hores de treball al dia de la planta, el nombre de treballadors, el sou d'aquests i si existeix procés de pel·letització (fabricació del pèl·let). Aquests paràmetres poden variar en els diferents escenaris que plantejarem segons la nostra voluntat, però en cada opció determinada es mantindrà fixa i no variarà. Per posar un exemple, si decidim que en l'opció 1 es treballa 8 hores i 220 dies/any aquestes variables no canviaran durant aquest escenari.

Fent canvis en aquests valors que acabem d'esmentar, farà que altres variables i/o índexs canviïn com són els Costos totals, els Beneficis abans d'Impostos i Taxes (BAIT), els Beneficis després d'Impostos (BDI), el "Cash Flow", el Valor Actual Net (VAN), l'Índex de Rendibilitat (IR) i la Taxa Interna de Retorn (TIR). Tot això, ens permetrà extreure conclusions i determinar on i per què és millor implementar aquest tipus d'instal·lació.

Taula 17. Paràmetres i Índexs en l'anàlisi econòmic de la planta.

Variables que es fixen segons cada escenari (variables 1)	Variables que canvien segons les variables 1.
Dies/any*	Costos totals (€/any)
Hores/dia (h)	Benefici abans d'impostos i taxes (BAIT)
Treballadors	Benefici després d'impostos (BDI)
Sou brut treballador/any (€)	Cash-Flow de la planta
Procés pel·letització (cost de 300.000€)	Valor Actual Net (VAN)
	Índex de rendibilitat (IR)
	Taxa Interna de Retorn (TIR)

Font: Elaboració pròpia.

Per acabar-nos de situar en el tema, farem un breu comentari de la piròlisi per poder veure quins productes genera. Tenim dos tipus de piròlisi, la lenta o convencional i la ràpida o "flash" com es mostra en la **taula 18**, que adjuntem a

continuació. En aquesta taula ens dona aquest percentatge de productes (sobretot els que estan en veremell) ja que canviem les condicions d'operació de la planta, que passen a ser més o menys estàndard, i són les variables que agafarem per fer l'anàlisi econòmic. Hi ha 2 tipus de tractament i en el nostre cas fem un assecatge més piròlisi. La torrefacció ja entra dins la piròlisi, perquè es realitza a 300°C, mentre que la piròlisi es fa a 500°C aproximadament.

Taula 18. Estudis experimentals amb biomassa forestal realitzats en la planta pilot.

Tipus	Condicions	Biooil	Char	Gas
Torrefacció	Baixa temperatura (<300 °C). Temps de Residència alts (> 5 min)	10%	80%	10%
Piròlisi (convencional)	Temperatura moderada (màxim 500°C). Temps de residència moderats (< 5min)	65%	20%	15%

Font: Elaboració pròpia.

En el primer cas, el de la piròlisi lenta o convencional, obtindrem un 80% de char o biochar que és el que es coneix com a carbó vegetal. Aquest carbó vegetal tindrà diverses opcions un cop produït per la planta:

1. En primer lloc, es pot vendre a petita escala en forma de sacs o a granel per poder-lo cremar en calderes de cases particulars i així poder escalfar l'aigua sanitària i la calefacció.
2. En segon lloc, es podria utilitzar en una caldera de la mateixa planta per, com s'ha comentat anteriorment, escalfar l'aigua i repartir-la amb una xarxa de distribució a un poble o als diferents barris que estiguessin connectats.
3. Per altre banda, es pot transportar aquest biochar o carbó vegetal a altres indrets per poder-lo vendre, tenint en compte, que el transport serà car degut a l'espai que ocupa.
4. Finalment, i com a última opció, es pot incloure una pel·letitzadora per densificar el biochar sense tractament i obtenir un pèl·let de carbó vegetal, el qual té un poder calorífic superior al biochar al haver estat densificat.

Pel que fa a la segona opció, el de la piròlisi ràpida o flash, obtindrem principalment bio-oli en un 75% amb les condicions determinades de la planta. El bio-oli tindrà diverses opcions alhora d'utilitzar-se per extreure un rendiment:

1. Una de les possibles opcions és per produir energia i calor per el propi ús de la refinaria o per la possible venda d'electricitat.
2. Producte químics en poca quantitat però que tindran alt valor.

3. Biocombustible de baixa qualitat però en grans quantitats.

En general en la nostra planta es duu a terme una piròlisi convencional en tots els sentits, però modificant les condicions d'operació (que no arriben a ser com les d'una piròlisi ràpida), es pot arribar a altes fraccions de bio-oli, fins a un 60% aproximadament.

11.3 A nivell local

Un cop explicades les condicions de la instal·lació en l'apartat anterior, l'objectiu és la implementació d'una planta de biomassa, en aquest cas, a nivell local i veure si és viable econòmicament. S'utilitzarà el mètode de la piròlisi convencional o lenta, que genera principalment biochar o carbó vegetal i bio-oli, a diferents proporcions, a través del processament de la biomassa.

A nivell local, donarem a entendre que la nostra planta està en un poble de Catalunya i que el seu potencial màxim de processament de biomassa és de 10.000 tones per any. Això significa que no pot processar més d'aquesta quantitat. A continuació, explicarem en detall tot el procés.

Primer de tot, com s'ha explicat a les consideracions prèvies, hem fixat per a cada opció diversos paràmetres que es mostren a la columna esquerra de la **taula 17**.

Apart d'aquells valors, tenim altres paràmetres com la vida útil, la capacitat de la planta, les tonelades de biomassa utilitzades a la planta per dia i per any, tenint en compte que la humitat de la biomassa és del 30%, i per acabar la producció de biochar que hi hauria considerant una eficiència del 80%. Tots aquests que acabem d'esmentar no seran modificats per nosaltres en cap cas, sinó que aniran canviat degut a les modificacions que fem als valors de la columna esquerra de la **taula 17**.

Posteriorment, hem buscat el cost per any que tindria tota la biomassa si la compréssim a 30, 40, 50, 60, 70 o 80 euros la tona. Es realitzen totes aquestes opcions per veure posteriorment la viabilitat econòmica de la instal·lació amb els diferents preus, sabent que hi ha preus que són totalment irrealistes, al ser alguns molt econòmics. Tanmateix, incloem els ingressos que tindríem per la venda de biochar i char si el preu de venda fos de 200€ la tona, els costos d'inversió de la planta que inclou els costos d'inversió a la mateixa i la inversió en un possible procés de pelletització. Després, també es dona els costos fixos (amortització i els segurs) i els costos variables que inclouen el cost del personal (nº de persones i sou), el cost de manteniment i el cost del consum d'energia de la planta.

El preu de venda del biochar l'hem fixat en 200€/tn ja que entenem que és un preu que s'adequa al mercat del pèl·let, i a més, al tenir més capacitat calorífica que l'estella i el pèl·let de fusta doncs és obvi que el seu preu sigui major. El fet

que el poder calorífic és major que el de el biochar, implica que el seu preu hauria de ser més alt, però s'escullen les hipòtesis més conservadores per a realitzar l'anàlisi econòmica.

Taula 19. Propietats de la biomassa, pèl·lets de biomassa, pèl·lets torrefactes, carbó de llenya i carbó.

	Biomassa	Pèl·lets biomassa	Pèl·lets torrefactes	Biochar	Carbó mineral
Humitat (% en pes)	30-45	7-10	1-5	1-5	10-15
Poder calorífic (MJ/kg)	9-12	15-16	20-24	30-32	23-28
Volàtils (% en base seca)	70-75	70-75	55-65	10-12	15-30
Carboni fix (% en base seca)	20-25	20-25	28-35	85-87	50-55
Densitat aparent (kg/l)	0.2-0.25	0.55-0.75	0.75-0.85	~0.2	0.80-0.85
Densitat energètica volumètrica (GJ/m ³)	2.0-3.0	7.5-10.4	15.0-18.7	6.0-6.4	18.4-23.8
Pols	Mitjana	Limitada	Limitada	Alta	-
Propietats higroscòpiques	Hidrofílic	Hidrofílic	Hidrofòbic	Hidrofòbic	Hidrofòbic
Degradació biològica	Sí	Sí	No	No	No
Necessitats per a la mòlta	Especial	Especial	Clàssica	Clàssica	Clàssica
Necessitats per al maneig	Especial	Fàcil	Fàcil	Fàcil	Fàcil
Consistència del producte	Limitada	Alta	Alta	Alta	Alta
Costos de transport	Alts	Mitjans	Baixos	Mitjans	Baixos

Font: Jaya Shakar, T., S. Shahab, et al. (2011). "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications." *Industrial Biotechnology* 7(5): 384-401.

El preu de venda del pèl·let de biochar és de 200 €/tona, tenint en compte que segons els preus actuals, el preu del pèl·let de biomassa està en uns 193 euros/tona. El poder calorífic del biochar és el doble al del pèl·let de biomassa com es veu a la **taula 19** (31 MJ/kg en comparació els 15-16 MJ/kg del pèl·lets de biomassa). Així doncs, si té el doble de poder calorífic el seu preu s'hauria també de doblar, quedant aproximadament en uns 386 €/tona.

Com ja s'ha mencionat anteriorment i com que no hi ha un mercat "real" actualment per aquest producte, s'escullen les hipòtesis més conservadores

per a dur terme l'anàlisi econòmica. Tot i així cal destacar que el preu de 386 €/tn és molt alt. Per tant, nosaltres fixem el preu en 200€/tn al considerar que és una hipòtesi conservadora perquè podria arribar segons el poder calorífic a 386€/tn.

A partir de totes aquestes dades que hem explicat i realitzant diverses operacions obtenim els Costos Totals, els Costos per tona de biochar, els Beneficis abans d'Impostos i Taxes (BAIT), els Beneficis abans de Taxes (BAT), l'Impost de Societats (30%), el Benefici després d'Impostos (en aquest cas després de l'impost de societats), el *Cash Flow*, el Valor Actual Net (VAN), l'Índex de Rendibilitat Financer (IR) i per acabar, la Taxa Interna de Rendibilitat o Taxa Interna de Retorn (TIR). De tots aquests índexs, el que nosaltres li donarem més importància, serà l'índex de Rendibilitat, ja que quan és major que 1 és vàlid i ens indica que el projecte és viable econòmicament. En la **taula 20** resumim les diferents variables o indicadors econòmics que varien segons cada escenari que es planteja.

Taula 20. Variables i indicadors econòmics que varien en el nostre anàlisi econòmic.

Indicadors econòmics	Operació
Costos totals (€/any) =	Costos fixos + Costos variables Costos fixos = amortització + assegurança Costos variables = preu biomassa + (Cost del personal + Cost del manteniment + Cost del consum d'energia de la planta)
Benefici abans d'impostos i taxes (BAIT) =	Venta biochar (€/any) – (Costos fixos + Costos variables)
Benefici després d'impostos (BDI) = (parlem de l'impost de societats)	BAIT – Impost societats (30%)
Cash-Flow de la planta = (BDI + amortització)	BDI + Amortització
Valor Actual Net = (VAN)	Cash Flow / (1 + tipus d'interès (0,05)) ^ any de vida útil (15 anys totals) Així doncs el VAN pels diferents preus de compra de la biomassa serà el sumatori de tots els anys de vida útil de la planta
Índex de rendibilitat = (IR) Vàlid quan > 1	VAN / Cost total de la inversió Cost total de la inversió = Cost d'inversió de la planta (€) + Inversió en el procés de pel·letització

Taxa Interna de Retorn = (valor que fa el VAN més a prop de 0)	El valor que fa el VAN 0
--------------------------------------------------------------------------	---------------------------------

Font: Elaboració pròpia.

Abans de prosseguir amb l'anàlisi, haurem de saber la quantitat de biomassa que comprarem i el preu de compra per veure si és viable tirar endavant el projecte. A nivell local, hem fixat l'horari de treball de la planta en 8 hores i 16 hores respectivament, el que significa que és capaç de processar un total de 8 tones/dia i 16 tones/dia, ja que la planta és capaç de tractar 1 tona/hora. A partir d'aquí, depenent del percentatge d'humitat de l'estella que comprem, haurem de comprar-ne més o menys. Ens expliquem.

L'estella arribarà amb un pes específic d'aigua i com hem comentat abans, la instal·lació solament accepta no més del 10% en humitat. Per tant, haurem de pretractar la biomassa i treure-li aquesta humitat, ja que en realitat, al final hi haurà menys biomassa de la que es compra, perquè gran part és aigua. Així doncs, en la **taula 21** que adjuntem, s'expliquen els càlculs que fem per saber la quantitat d'estella que hem de comprar i el preu de compra prenent el cas de 8 hores de treball de la planta.

Taula 21. Quantitat de biomassa a comprar a nivell comarcal.

Opcions		Càlculs	
Capacitat planta (humitat < 10%)		8 tones/dia (torn 8 hores dia)	
Conversió al 80% de torrefacció		6.4 t de biomassa torrefacta/dia	$8 \cdot 0,8 = 6,4$
Biomassa que s'ha de comprar (30% humitat)		10.4 tones de biomassa/dia	$8 \cdot 1.3 = 10.4$
Preu total de la biomassa	80 €/t	832 €/dia	$80 \cdot 10.4 = 832$
	68 €/t	707.2 €/dia	$68 \cdot 10.4 = 520$

Font: Elaboració pròpia.

Per tant, amb la **taula 21** podem concloure que la quantitat de biomassa que comprarem serà superior a la que realment utilitzarem, ja que gran part serà humitat que s'evaporarà amb el procés de torrefacció que hi aplicarem. Cal destacar que als nostres càlculs considerem que la compra de biomassa és de biomassa seca, és a dir amb menys d'un 10% d'humitat (hipòtesi de càlcul), ja que després de comprar-la amb un 30% d'humitat, s'asseca.

Cal remarcar, que el preu de l'estella variarà segons l'oferta i la demanda que hi hagi en el moment. Per tant, alguns mesos el preu de compra serà més barat i altres mesos més car. Els preus que es veuen en la taula superior són preus reals que són proporcionats per la SERRADORA BOIX. La biomassa conté entre un 24 i un 27% d'humitat, que es pot arrodonir a un 30%. La diferència de

preus entre els dos tipus d'estella és degut a que la més econòmica, la de 68€/tn (70), és cribada un cop i la seva dimensió és variable. En canvi, l'estella més cara, la de 80€/tn, passa el procés de cribatge dos cops i per tant la seva dimensió és més homogènia. Si la caldera és més delicada per la dimensió de l'estella, s'haurà d'utilitzar la més homogènia (80€/tn) ja que garanteix una granulometria determinada (G-30).

Un cop explicat tot això, a la **taula 22** que adjuntem a continuació, mostra les diverses opcions que hem cregut oportú realitzar. En totes elles hem fixat 220 dies per any treballat que és la mitjana de cada any tenint en compte 104 caps de setmana, 13 dies festius i 30 dies de vacances a l'any. També hem fixat en 22.500€, a nivell local, el sou brut anual de cada treballador. Totes les altres variables no són fixes en les diverses opcions de la taula i varien en cada una d'elles. A partir d'aquí hem plantejat quatre opcions o escenaris amb diverses variacions que creiem importants comentar.

1. A la primera opció hem fixat 8 hores de treball al dia i 2 treballadors per les vuit hores de la jornada laboral. També hem tingut en compte que no hi havia una inversió de 300.000€ en el procés de pel·letització, el que implica que no obtindrem pèl·lets de carbó, sinó que solament produïrem biochar. Al no invertir en el procés de pel·letització, els nostres costos totals seran inferiors.

Com podem observar a la taula, el nostre Índex de Rendibilitat està per sota de l'1 en cinc dels sis casos. Recordem que quan l'IR és més gran que 1 vol dir que és viable econòmicament la realització del projecte. Així doncs, quan comprem la biomassa a 30€ és possible la realització del projecte, però aquest preu de compra és irreal ja que el preu de la biomassa actual oscil·la entre els 60 i 80€ euros (Serradora Boix) el que vol dir que l'opció número 1 no seria viable ja que en el cas de compra entre 60 i 80, l'IR està per sota l'1. Per tant, l'única solució possible seria obtenir biomassa no forestal, com per exemple residus de poda, amb un preu de compra de no més de 30€/tona, que ens permetria tirar endavant el projecte per aquest escenari.

2. En la segona opció, tot es manté igual menys en el cas d'inversió en el procés de pel·letització en el qual si que hi ha una inversió de 300.000€ que farà que els nostres costos augmentin. Així doncs, el nostre índex de Rendibilitat serà inferior a 1 en totes les opcions de compra de la biomassa, el que implicarà que el nostre projecte no sigui vàlid en cap opció per la compra de biomassa. Si comparem les dos primeres opcions, es pot veure com la inversió en el procés de pel·letització repercuteix directament en els costos, augmentant-los, i en els beneficis, disminuint-los.

Si per exemple, decidíssim augmentar el preu de venda del char fins als 250€/tona, aquest continuaria donant IR per sota d'1, el que fa

impossible la realització del projecte. Preus més elevats de 250€/tn no és consideren adients pel fet que encara no hi ha mercat.

3. En l'opció número tres, augmentem el número d'hores per dia fins a 16 el que significarà la necessitat de més treballadors perquè la planta està més hores en funcionament. Així doncs, passarem de 2 a 4 treballadors mantenint el sou base, ja que hi haurà dos torns de treball. En aquest cas, no hi haurà procés de pel·letització i tot el que obtindrem serà biochar, el qual el preu de venda fixat és de 200€/tona. Com a resultat, obtindrem un IR superior a 1 en tots els preus de compra de la biomassa de la taula, el que suposarà que el nostre projecte sigui vàlid en tots els casos.
4. En aquesta darrera opció, mantindrem les 16 hores per dia i els 4 treballadors però amb una inversió en el procés de pel·letització.

A la **taula 22**, per aquest escenari, existeixen dos valors per cada preu de compra. El de color vermell és el valor del paràmetre x corresponent al preu de venda del pèl·let de biochar o simplement biochar a 200€/tn i en canvi el segon i de color blau és el valor corresponent del mateix paràmetre per un preu de venda del pèl·let de biochar a 230€/tn. El motiu d'aquest increment de preu es dona pel fet que volem saber quin preu de venda ens permet tenir un IR major a 1 en tots els casos, i aquest és de 230€/tn.

Pel que fa a l'IR per un preu de venda a 200€/tn (color vermell), tots els valors estan per sobre de l'1 menys en els preus de compra de l'estella superiors a 60€/tn. Així doncs, amb els preus de la Serradora Boix amb els quals treballem (68 i 80), seria impossible tirar endavant el projecte, a no ser que compréssim biomassa inferior a 60€/tn.

Per tant, sabent que en aquest escenari hi ha producció de pèl·let, decidim incrementar el preu de venda d'aquest, sabent que la seva capacitat calorífica és superior al de biochar, i és lògic que el seu preu també. A través de diferents càlculs, hem vist que a partir de 227 € és possible realitzar el projecte per tots els preus de compra. Així doncs, hem fixat el preu de venda en 230€/tona. Augmentant 30€/tn (de 200 a 230) els nostres beneficis augmenten en tots els casos ja que venem el producte a un preu més car i també ens permet que tots els Índexs de Rendibilitat pels diferents preus de compra siguin majorS a 1 i puguem realitzar el projecte.

Com a conclusió, podem dir que les opcions més viables són la 3 i la 4. L'opció 3 presenta un IR superior a 1 en tots els casos i l'opció 4 depèn del preu de venda del producte és més viable o no, essent el preu de venda de 230€/tn el millor. Val a dir, que els productes que sorgeixen de les opcions són diferents. Mentre que en la tercera, solament obtindrem biochar o carbó vegetal, a la quarta apart de biochar obtindrem pèl·lets de carbó, ja que hi ha un procés de pel·letització a la planta.

Per tant, si la nostra planta no incorporés procés de pel·letització, l'escenari ideal seria el tercer, ja que en tots els preus de compra, que inclou els preus reals que nosaltres hem tingut en compte (68 i 80), l'IR és superior a 1 en tots els casos i el projecte és possible. En canvi, si la nostra planta incorpora procés de pel·letització, l'escenari ideal és el quart, sempre i quan venguem el char o els pèl·lets de biochar a partir de 230€/tn (color blau), ja que això ens permetria tenir un IR superior a 1 en tots els casos, a més de, uns beneficis superiors que si ho venguéssim a 200€/tn. A més a més, és lògic vendre el pèl·let més car que el simple carbó vegetal, ja que, hem de recuperar la inversió de 300.000€ en el procés de pel·letització i el seu poder calorífic és superior, el que significa que amb menys quantitat genera més calor.

En definitiva, aquestes dos opcions que hem comentat anteriorment serien viables econòmicament parlant, però tenen un problema. A nivell municipal, o el que és el mateix en un poble, la quota de mercat és reduïda i per tant, la possibilitat de venda del producte també ho és. Així doncs, abans d'obrir una planta d'aquest tipus s'hauria de saber primer si el producte que es genera té una sortida en el mercat local. Per contra, els dos primers escenaris són totalment inviables, degut a la quantitat d'hores treballades per dia (8) en comparació a les altres dues opcions (16).

Taula 22. Resultats de les variacions a nivell local. Font: Elaboració pròpia. *Color vermell: preu de venda a 200€/tn *Color blau: preu venda 230€/tn

A Nivell Local		Opció 1	Opció 2	Opció 3	Opció 4
Dies/any*		220	220	220	220
Hores/dia (h)		8	8	16	16
Treballadors		2	2	4	4
Sou brut treballador/any (€)		22.500	22.500	22.500	22.500
Procés pel·letització (cost de 300.000€)		No	Sí	No	Sí
Costos totals (€/any)	30€	165.928,	194.928	270.856	299.856* 299.856*
	40€	183.528	212.528	306.056	335.056 335.056
	50€	201.128	230.128	341.256	370.256 370.256
	60€	218.728	247.728	376.456	405.456 405.456
	70€	236.328	265.328	411.656	440.656 440.656
	80€	253.928	282.928	446.856	475.856 475.856
Benefici abans d'impostos i taxes (BAIT)	30€	115.672	86.672	292.344	263.344 347.824
	40€	98.072	69.072	257.144	228.144 312.624
	50€	80.472	51.472	221.944	192.944 277.424
	60€	62.872	33.872	186.744	157.744 242.224
	70€	45.272	16.272	151.544	122.544 207.024

	80€	27.672	-1.328	116.344	87.344 171.824
Benefici després d'impostos (BDI) (parlem de l'impost de societats = 30%)	30€	80.970,4	60.670,4	204.640,8	184.340,8 243.476,8
	40€	68.650,4	48.350,4	180.000,8	159.700,8 218.836,8
	50€	56.330,4	36.030,4	155.360,8	135.060,8 194.196,8
	60€	44.010,4	23.710,4	130.720,8	110.420,8 169.556,8
	70€	31.690,4	11.390,4	106.080,8	85.780,8 144.916,8
	80€	19.370,4	-929,6	81.440,8	61.140,8 120.276,8
Cash-Flow de la planta (= BDI + amortització)	30€	120.970,4	120.670,4	244.640,8	244.340,8 303.476,8
	40€	108.650,4	108.350,4	220.000,8	219.700,8 278.836,8
	50€	96.330,4	96.030,4	195.360,8	195.060,8 254.196,8
	60€	84.010,4	83.710,4	170.720,8	170.420,8 229.556,8
	70€	71.690,4	71.390,4	146.080,8	145.780,8 204.916,8
	80€	59.370,4	59.070,4	121.440,8	121.140,8 180.276,8
Valor Actual Net (VAN = - Cost total inversió + $\Sigma(\text{Cash-Flow}/(1 + i))$)	30€	655.631,4	352.517,5	1.939.287,8	1.636.173,9 2.249.985,4
	40€	527.754	224.640,1	1.683.533,1	1.380.419,2 1.994.230,6

	50€	399.876,6	96.762,7	1.427.778,3	1.124.664,4 1.738.475,9
	60€	271.999,2	-31.114,7	1.172.023,5	868.909,6 1.482.721,1
	70€	144.121,8	-158.992,1	916.268,7	613.154,8 1.226.966,3
	80€	16.244,4	-286.869,4	660.514	357.400 971.211,5
Índex de rendibilitat (IR) Vàlid quan > 1	30€	1,09	0,39	3,23	1,82 / 2,50
	40€	0,88	0,25	2,81	1,53 / 2,22
	50€	0,67	0,11	2,38	1,25 / 1,93
	60€	0,45	-0,03	1,95	0,97 / 1,65
	70€	0,24	-0,18	1,53	0,68 / 1,36
	80€	0,03	-0,32	1,10	0,40 / 1,08
Taxa Interna de Retorn (valor que fa el VAN més a prop de 0)	30€	0,186016	0,103456	0,405257	0,263344 0,332656
	40€	0,162051	0,0849569	0,363151	0,233647 0,304041
	50€	0,137218	0,0655085	0,320575	0,203221 0,275063
	60€	0,111239	0,0448402	0,277294	0,171798 0,245602
	70€	0,083702	0,022558	0,232941	0,138979 0,215494
	80€	0,053979	0	0,186916	0,104147 0,184509

11.4 A nivell comarcal

A nivell comarcal, el nostre objectiu segueix sent la implementació d'una planta de biomassa per veure'n la viabilitat econòmica. S'utilitzarà, com el cas anterior, el mètode de la piròlisi convencional o lenta, que genera principalment biochar o carbó vegetal a través del processament de la biomassa.

Hem establert que la capacitat de processament de la planta seguirà sent de 10.000 tones per any però la gran diferència amb l'anterior apartat és que hi haurà la instal·lació de tres plantes, el que significa una capacitat de processament de 30.000 tones totals per any. La implementació de tres plantes es deu a que estem parlant d'una comarca, i per tant, la quota de mercat és major així com la possible demanda.

Pel que fa a la quantitat i preu de compra de l'estella, el procediment és exactament el mateix que a nivell local, però l'únic que varia són les hores de funcionament de la planta, que seran de 24. La **taula 23** ens mostra les operacions realitzades:

Taula 23. Quantitat de biomassa a comprar a nivell comarcal.

Opcions			Càlculs
Capacitat planta		24 tones/dia (torn 24 h/dia)	
Conversió al 80% de torrefacció		19,2t biomassa torrefacta/dia	$24 \cdot 0,8 = 19,2$
Biomassa que s'ha de comprar		30 tones de biomassa/dia	$30 \cdot 0,8 = 24$
Preu total de la biomassa	80 €/t	2400€/dia	$30 \cdot 80 = 2400$
	68 €/t	2040€/dia	$30 \cdot 68 = 2040$

Font: Elaboració pròpia.

Com en el cas anterior, en els nostres càlculs considerem que la compra de biomassa és de biomassa seca, és a dir amb menys d'un 10% d'humitat (hipòtesi de càlcul), ja que després de comprar-la amb un 30% d'humitat, s'asseca.

Com podem observar a la **taula 24** que adjuntem, a nivell comarcal també hem tingut en compte diverses opcions que hem cregut oportú realitzar. En les dos primeres opcions hem fixat 270 dies per any treballat, el que significa 52 dies de caps de setmana (6 dies de treball durant la setmana), 13 dies festius durant l'any i 30 dies de vacances durant l'any. En les dos següents hem considerat els 220 dies per any treballat.

També, hem entès que si la planta era a nivell comarcal la quota de mercat seria molt més àmplia que a nivell local i per tant que la necessitat de produir major. Aquesta és la raó per la qual hem establert una jornada laboral de 24 hores el que significa 3 torns de treball i 6 treballadors en total. Del sou dels treballadors hem contemplat dos opcions: 22.500€ i 30.000€ anuals per treballador. Els primer sou és un sou més ajustat al context de crisi econòmica

actual i l'altre d'una època més bondadosa en termes econòmics. A més a més, a totes les opcions s'ha contemplat la inversió en el procés de pel·letització ja que al produir més quantitat, perquè es treballa més hores i dies, s'ha entès que és totalment viable invertir-hi.

1. A la primera opció hem fixat 24 hores de treball al dia i 6 treballadors, el que significa 2 treballadors per cada vuit hores de la jornada laboral. Hem mantingut el sou en 22.500€. En tots els casos, incloem a la producció de biochar el procés de pel·letització el que ens permetrà la producció de pèl·lets de carbó. Així doncs, el nostre Índex de Rendibilitat està per sobre l'1 en tots els casos, el que significa que és viable la realització el projecte. Com es pot observar a la taula que adjuntem, quan més car es compra la tona de biomassa, més costos totals es té i menys beneficis després d'impostos hi ha. Pels preus reals que nosaltres treballem, 68€/tn (70 a la taula) i 80€/tn, el projecte és totalment vàlid ja que els IR són respectivament 2,37 i 1,85. Per tant, es podria mantenir el mateix preu pel biochar i pel pèl·let, però és poc lògic ja que el segon és més car de produir i la seva capacitat calorífica major, el que permetria pujar el seu preu de venda sense cap mena de problema.
2. En el segon escenari, mantenim els dies i hores treballades, el número de treballadors i també la inversió de 300.000€ en el procés de pel·letització. El que varia doncs, és l'increment substancial de sou que tenen els treballadors, que passa de 22.500€ a 30.000€. Aquest canvi l'hem realitzat per comprovar si amb més costos de salaris implica un Índex de Rendibilitat menor a 1 en algun cas. Malgrat tot, això no ha estat així i l'Índex de Rendibilitat no és inferior a 1 en cap cas, el que implica que el nostre projecte sigui viable econòmicament parlant. Com en el primer cas, es podria mantenir el mateix preu pel biochar i pel pèl·let, però és poc lògic ja que el segon és més car de produir i la seva capacitat calorífica major, el que permetria pujar el seu preu de venda sense cap mena de problema.
3. A l'opció número tres, disminuïm el número de dies fins als 220, que és la mitjana per any treballat i mantenim totes les altres variables com hores treballades, número de treballadors i sou i la inversió en el procés de pel·letització. El resultat és un IR superior a 1 en tots els casos menys per la compra d'estella a 80€/tn, que és amb un dels casos reals que nosaltres treballem. Això es dona quan fixem el preu de venda del biochar i del pèl·let en 200€/tn (color vermell a l'escenari 3 de la **taula 24**).
Per tant, perquè tots els IR siguin possibles pels diferents preus de compra, modifiquem el preu de venda del pèl·let de biochar. Mitjançant diferents càlculs, hem pogut saber que a partir de 208€/tn tots els IR són

superiors a 1, el que ens ha portat a fixar el preu de venda en 210€/tn (color blau pels diferents paràmetres a la **taula 24**).

Malgrat tot, el preu del pèl-let encara el podríem incrementar més, fins arribar, per exemple, als 230€/tn que hem fixat a nivell local. En definitiva, en aquest escenari podríem comprar la biomassa a 68€/tn (70€/tn a la taula) per poder fabricar biochar, donat que aquesta estella no té tanta qualitat, pel simple fet que té diferents dimensions, i comprar l'estella de 80€/tn per fabricar els pèl-lets, fixant el preu de venda en un mínim de 210€/tn.

4. Pel que fa la quarta i darrera opció, mantenim el número de dies fins als 220, que és la mitjana per any treballat i les altres variables com el sou dels treballadors i la inversió en el procés de pel·letització però disminuïm el número d'hores treballades per dia, que són de 16 i també el nombre de treballadors que són de 4, dos treballadors per cada vuit hores. El resultat és un IR superior a 1 en els casos de compra de biomassa a 30, 40 i 50€/t i per un preu de venda fixat a 200€/tn (color vermell per l'escenari 4 a la **taula 24**). Aquest fet ens dificulta molt la realització del projecte, el que ens porta a augmentar el preu de venda del pèl-let. Mitjançant diferents càlculs, determinem que a partir de 238€/tn tots els IR són superiors a 1, el que ens inclina a fixar el preu en un mínim de 240€/tn (color verd pels diferents paràmetres a la **taula 24**).

Per concloure, podem dir que totes les opcions són viables i possibles a nivell comarcal. La quota de mercat al tractar-se d'una comarca és molt gran i per això podem fer treballar les tres plantes les 24 hores al dia. Òbviament, el preu de compra de la biomassa i el preu de venda del producte així com els dies i les hores treballats per any marcaran els nostres beneficis després de l'impost de societats (BDI). Si observem atentament el BDI de tots els escenaris, i en concret, els dels preus de compra de biomassa amb els quals treballem (70 i 80), veiem que el que ens reporta majors beneficis és el del primer escenari. En aquest cas els dies (270), les hores per dia (24) i sobretot els salaris (22500€/treballador) resulten claus alhora de reduir els costos i maximitzar els beneficis. Malgrat tot, en el context actual de crisi econòmica, el fet de treballar més i conseqüentment produir més, no implica una major venda ja que la possible demanda potser no seria l'esperada. Per tant, altres escenaris on hi hagués menys dies i menys hores laborables serien més adequats per la possible demanda que hi hauria, com per exemple el tercer i el quart.

Per acabar, comentar que un dels avantatges que comporta la producció de pèl-let de carbó és que es pot transportar d'una manera molt més fàcil que el carbó vegetal ja que ocupa molt menys espai i per tant hi haurà un estalvi de diners en aquest aspecte malgrat la inversió inicial en el procés de pel·letització. Tanmateix, si hi ha algun agent que està interessat en la compra de biochar o pèl-let ha de saber que el primer és més econòmic que el segon,

però per contra, és necessita més quantitat de carbó vegetal que de pèl·let per proporcionar la mateixa quantitat d'energia, ja que el pèl·let, té un poder calorífic superior.

Taula 24. Resultats de les variacions a nivell comarcal. Font: Elaboració pròpia. *Vermell: preu venda (PV) 200€/tn *Blau: PV 210€/tn *Verd: PV 240€/tn

A Nivell Comarcal		Opció 1	Opció 2	Opció 3	Opció 4
Dies/any*		270	270	220	220
Hores/dia (h)		24	24	24	16
Treballadors		6	6	6	4
Sou brut treballador/any (€)		22.500	30.000	30.000	30.000
Procés pel·letització (cost de 300.000€)		Sí	Sí	Sí	Sí
Costos totals (€/any)	30€	445.644	490.644	449.784* 449.784*	329.856* 329.856*
	40€	510.444	555.444	502.584 502.584	365.056 365.056
	50€	575.244	620.244	555.384 555.384	400.256 400.256
	60€	640.044	685.044	608.184 608.184	435.456 435.456
	70€	704.844	749.844	660.984 660.984	470.656 470.656
	80€	769.644	814.644	713.784 713.784	505.856 505.856
Benefici abans d'impostos i taxes (BAIT)	30€	591.156	546.156	395.016 437.256	233.344 345.984
	40€	526.356	481.356	342.216 384.456	198.144 310.784
	50€	461.556	416.556	289.416 331.656	162.944 275.584
	60€	396.756	351.756	236.616 278.856	127.744 240.384
	70€	331.956	286.956	183.816 226.056	92.544 205.184

	80€	267.156	222.156	131.016 173.256	57.344 169.984
Benefici després d'impostos (BDI) (parlem de l'impost de societats)	30€	413.809,2	382.309,2	276.511,2 306.079,2	163.340,8 242.188,8
	40€	368.449,2	336.949,2	239.551,2 269.119,2	138.700,8 217.548,8
	50€	323.089,2	291.589,2	202.591,2 232.159,2	114.060,8 192.908,8
	60€	277.729,2	246.229,2	165.631,2 195.199,2	89.420,8 168.268,8
	70€	232.369,2	200.869,2	128.671,2 158.239,2	64.780,8 143.628,8
	80€	187.009,2	155.509,2	91.711,2 121.279,2	40.140,8 118.988,8
Cash-Flow de la planta (= BDI + amortització)	30€	473.809,2	442.309,2	336.511,2 366.079,2	223.340,8 302.188,8
	40€	428.449,2	396.949,2	299.551,2 329.119,2	198.700,8 277.548,8
	50€	383.089,2	351.589,2	262.591,2 292.159,2	174.060,8 252.908,8
	60€	337.729,2	306.229,2	225.631,2 255.199,2	149.420,8 228.268,8
	70€	292.369,2	260.869,2	188.671,2 218.239,2	124.780,8 203.628,8
	80€	247.009,2	215.509,2	151.711,2 181.279,2	100.140,8 178.988,8
Valor Actual Net (VAN = - Cost total inversió + Σ (Cash-Flow/(1 + i)))	30€	4.017.977,5	3.691.018,2	2.592.871,2 2.899.776,9	1.418.201,1 2.236.616,4
	40€	3.547.156,2	3.220.196,95	2.209.239 2.516.144,7	1.162.446,4 1.980.861,6

	50€	3.076.334,9	2.749.375,7	1.825.606,9 2.132.512,6	906.691,6 1.725.106,9
	60€	2.605.513,6	2.278.554,4	1.441.974,7 1.748.880,4	650.936,8 1.469.352,1
	70€	2.134.692,3	1.807.733,1	1.058.342,5 1.365.248,3	395.182 1.213.597,3
	80€	1.663.871	1.336.911,8	674.710,4 981.616,1	139.427,3 957.842,5
Índex de Rendibilitat (IR) Vàlid quan > 1	30€	4,46	4,10	2,88 / 3,22	1,58 / 2,49
	40€	3,94	3,58	2,45 / 2,80	1,29 / 2,20
	50€	3,42	3,05	2,03 / 2,37	1,01 / 1,92
	60€	2,90	2,53	1,60 / 1,94	0,72 / 1,63
	70€	2,37	2,01	1,18 / 1,52	0,44 / 1,35
	80€	1,85	1,49	0,75 / 1,09	0,15 / 1,06
Taxa Interna de Retorn (TIR)	30€	0,525521	0,490217	0,370597 0,404256	0,238075 0,331168
	40€	0,474651	0,439181	0,328118 0,362142	0,207771 0,302537
	50€	0,423523	0,387791	0,284983 0,319552	0,176516 0,273536
	60€	0,371988	0,335834	0,240853 0,276250	0,143936 0,244045
	70€	0,319795	0,282952	0,195182 0,231865	0,109453 0,213899
	80€	0,266525	0,228529	0,147034 0,185790	0,072117 0,182859

11.5 Anàlisi de sensibilitat

En l'anàlisi de sensibilitat, l'objectiu és fer variar un paràmetre que sigui molt sensible a possibles canvis, com pot ser el preu de venda d'un producte, i com a conseqüència, pugui provocar una alteració en la viabilitat econòmica d'un projecte, com és el cas de la implementació d'una planta de piròlisi. En definitiva, aquesta variació en el preu del producte, en la nostra situació el biochar, pot fer que el projecte pugui ser viable o no econòmicament parlant.

Així doncs, s'ha escollit com a paràmetre sensible a modificar el preu de venda del biochar que el teníem fixat a 200€/t tan a nivell comarcal com a nivell local. En aquest sentit, incrementarem el preu del biochar en alguns casos i també el disminuïrem per veure com ens fa variar tots els costos, beneficis i altres taxes i índexs que a la fi, determinen la viabilitat del projecte, és a dir, si es pot realitzar o no. A nivell comarcal, ja hem modificat el preu de venda a l'alça, i aquí ho farem també a la baixa per observar el que anomenarem preu límit de venda (preu per sota del qual no és possible realitzar el projecte per un determinat preu de compra de biomassa).

En el primer dels casos, a la **taula 25**, es fa un anàlisi de sensibilitat **a nivell local**. Com hem comentat, farem variar el preu de venda del biochar, i específicament en aquelles opcions de la taula on existeix el procés de pel·letització. Per tant, el que farem variar és el preu de venda del pèl·let de biochar. El motiu d'aquesta decisió és que el pèl·let el podem vendre més car que 200€/t, però no creiem que puguem vendre més car el biochar (escenari 1 i 3), tot el contrari, fins i tot una mica més barat de 200€/t degut al seu menor poder calorífic. El fet que augmentem el preu de venda del pèl·let en les opcions on existeix el procés de pel·letització té una raó ben senzilla.

En primer lloc, si s'implementa el procés de pel·letització a nivell local s'han de poder recuperar els costos que implica la inversió de 300.000€. Encara que el pèl·let de biochar el puguem vendre més car que el biochar, no suposa que sigui menys rendible econòmicament pel consumidor, ans el contrari, depenent del tipus de caldera i finalitat del consumidor és molt més recomanable la utilització del pèl·let ja que el seu poder calorífic és superior, i per tant, es necessita menys quantitat per donar calor.

Així doncs, en l'escenari 2 i 4 de la **taula 25**, en el qual existeix el procés de pel·letització, s'han augmentat els preus de venda, fins arribar al preu que feia factible que el projecte de la planta sigues viable d'implementar en tots els preus de compra de biomassa.

En el cas de la segona opció, el preu de venda que fa que sigui viable la planta per tots els preus de compra estipulats a la taula, és de 316,5€/t. A més, incloem un preu de 304,5€/tn, que és el preu mínim que fa factible una de les

opcions reals de compra de biomassa amb les quals nosaltres treballem, la de 68€/tn (70 a la taula).

En canvi, en la quarta opció el preu que fa factible la realització del projecte per tots els preus de compra estipulats és de 227€/t.

Taula 25. Anàlisi de sensibilitat a nivell local als escenaris amb procés de pel·letització.

A Nivell Local		Escenari 2			Escenari 4		
Dies/any*		220			220		
Hores/dia (h)		8			16		
Treballadors		2			4		
Sou brut treballador/any (€)		22.500			22.500		
Procés pel·letització (cost de 300.000€)		Sí			Sí		
	Preu compra de biomassa (€/t)	Venda biochar(€/t)	200	304,5	316,5	200	227
IR Vàlid quan > 1	30€		0,39	1,58	1,72	1,82	2,43
	40€		0,25	1,44	1,57	1,53	2,15
	50€		0,11	1,30	1,43	1,25	1,86
	60€		-0,03	1,15	1,29	0,97	1,58
	70€		-0,18	1,01	1,15	0,68	1,30
	80€		-0,32	0,87	1,01	0,40	1,01

Font: Elaboració pròpia.

Per tant, si comparem aquestes dos opcions, la que finalment escolliríem seria la número quatre. En aquest cas i com es pot veure a la taula, incrementant en 27€ el preu de venda (de 200 a 227€) es podria implementar el projecte de la planta de piròlisi comprant la biomassa a tots els preus.

En canvi, l'opció número dos no seria viable ja que hauríem d'incrementar 116,5€ (de 200 a 316,5) perquè totes les opcions siguin possibles econòmicament parlant, és a dir, $IR > 1$. El fet que no sigui viable és principalment en l'augment substancial de preu, que faria molt difícil de competir a escala local amb altres energies no renovables.

Per poder copsar la diferència que hi ha entre els dos escenaris, només fa falta que mirem els Beneficis després d'impostos. Mentre que per l'escenari dos, el BDI amb preus de compra a 70 i 80€/tn (casos reals en que treballem) i preu de venda a 316,5€/tn, és de 126.212,80 i 113.892,80€/any, per l'escenari 4 amb els mateixos preus de compra de biomassa però amb preu de venda a 227€/tn, el BDI és de 139.003,20 i 114.363,20€/any respectivament. Solament augmentat aquests 27 euros, tenim més benefici amb els mateixos preus de compra, que no augmentant-ne 116,5€. Aquest fet es deu a la diferència d'hores de treball entre els dos escenaris, ja que la planta que treballa 8 hores té iguals costos, inclòs el procés de pel·letització, però produeix menys al estar en funcionament menys hores.

Tot el contrari és el cas a **nivell comarcal** que podem trobar completat a la **taula 26**, on es fa un anàlisi de sensibilitat a nivell comarcal però disminuint el preu de venda del biochar en general. A l'apartat anterior (**11.4 A nivell Comarcal**) hem augmentat el preu de venda fixat del biochar en aquells escenaris on tots els IR no eren superiors a 1 (escenari 3 i 4). En aquest sentit, aquest augment va dirigit al pèl·let de biochar, ja que com s'ha anat comentant, es pot vendre més car que el simple biochar donat la superior capacitat calorífica. Així doncs, s'ha decidit rebaixar el preu del biochar per veure fins a quin preu límit seria rendible vendre'l, ja que a 200€/tona s'ha demostrat que ho és totalment. Que el preu de venda de 200€ sigui totalment rendible no vol dir que no és pugui pujar el preu, ja que tot depèn de la demanda que hi hagi i la competència amb altres fonts d'energia.

A la primera opció, a la **taula 26** que adjuntem, es pot copsar que amb el preu de venda a 200€/tn tots els IR són superiors a 1, així que la planta és totalment rendible a nivell econòmic. A partir d'aquí, hem rebaixat el preu de venda fins a trobar els dos preus límits per sota dels quals no és possible realitzar el projecte si comprem la biomassa a 70 i 80€/tn respectivament. Tot això ens ho indica el IR. Per exemple, per sota el preu de venda de 180 €/tn, ja no podríem realitzar el projecte de la planta si nosaltres compréssim la biomassa a 80€, ja que el seu IR estaria per sota d'1 o igual que 1. A més, amb els dos preus de compra que treballem són adequats a la realitat ja que són proporcionats per la Serradora Boix.

Per tant, a tall d'exemple, en una època amb poca demanda a nivell comarcal, podríem baixar el preu de venda del biochar als preus límits de 180 i 167,5€/tn respectivament, i mantenir el preu del pèl·let a 200€/tn.

En el cas del segon escenari, a la **taula 26**, és dona la mateixa situació que el primer però l'única cosa que varia és el sou que reben els treballadors (de 22.500 a 30.000€/any). El fet que augmentin els costos fa que els beneficis disminueixin i per tant, l'IR sigui una mica inferior en els diferents preus de compra fixant la venda de char a 200€/tn. En aquest cas, els dos preus límits (188,7 i 176,1€/tn) són superiors al del primer cas degut a que hem de vendre el producte més car degut a que hi ha un augment dels costos pel que fa als sous dels treballadors. De totes maneres, es pot disminuir el preu del simple biochar de 200 fins a un dels dos preus límits, i mantenir el preu del pèl·let en 200€/tn o augmentar-lo. Totes aquestes decisions sobre el preu de venda del producte, depenent principalment de la situació del mercat, és a dir, la llei de l'oferta i la demanda.

Pel que fa al tercer cas, a la **taula 26**, s'observa que amb el preu de venda a 200€/tn no es pot tirar endavant el projecte en tots els casos. Així doncs, decidim veure els dos preus límits de venda pels preus de compra de 70 i 80€/tn, que són amb els preus reals que treballem. Com ja hem fet a l'**apartat**

11.4 A nivell Comarcal per l'escenari 3, hem augmentat el preu de venda per veure quin preu límit era el que ens permetia que el projecte fos viable per tots els preus de compra, i en especial el de 80. Després de realitzar els càlculs, hem comprovat que aquest preu era de 208€/tn que s'ha acabat fixant en l'apartat 7,4 a 210€/tn. Tanmateix, en aquest escenari, reduïm el preu per veure amb quin valor límit ens quedem per la compra de biomassa a 70€/tn. Aquest valor és 195€/tn.

Ja per acabar, en la quarta i última opció, que resumeix la **taula 26**, s'ha hagut d'augmentar el preu de venda ja que a 200€/tn no és viable engegar el projecte per les últimes tres opcions de compra. Per aquest mateixa raó, hem buscat el preu que ens fa possible totes les opcions i en especial les dos últimes. Un dels valors límits és de 238€/tn, que en **l'apartat 7,4** hem fixat en 240 per arrodonir-ho. Per sota aquest preu, no es pot realitzar el projecte si comprem la biomassa a 80€/tn. També hem buscat el preu límit per la compra de biomassa a 70€/tn, que és de 225€/tn. Així doncs, aquest escenari planteja una pujada de preus de venda del biochar atenent als preus de compra de biomassa (estella) que nosaltres considerem com a reals (70 i 80€/tn).

Com a conclusions, a nivell comarcal, podem afirmar que quan rebaixem el preu del biochar, les opcions que surten més perjudicades són les que hi ha menys dies per any treballat i menys hores de treball al dia, ja que tenen els mateixos costos però produeixen menys quantitat de producte i per tant, l'han de vendre a un preu més car.

També, comentar que el preu de venda, es pot rebaixar fins que solament sigui possible per una opció de preu de compra de biomassa, en aquest cas, la més econòmica com és la de 30€/tn. El problema és que avui en dia no es troba biomassa a un preu tan econòmic com 30€/tn i hauríem de buscar altres tipus de biomassa, com restes de poda, que potser si s'aproximen a aquest preu. Posteriorment, hauríem de veure si és possible produir un biochar i un pèl·let de biochar a partir de les restes de poda o conreus i, si és possible, veure la seva qualitat respecte el biochar i el pèl·let produït mitjançant l'estella.

En definitiva, si haguéssim d'instal·lar una planta de biomassa estaríem interessats a aplicar l'opció número 1 a nivell comarcal. El sou dels treballadors és més baix que en els altres casos i l'IR és elevat quan es ven el biochar a 200€/t. A més a més, sempre es pot pujar el preu del char, que resultaria en un augment de beneficis per aquest escenari.

Taula 26. Taula completa de l'anàlisi de sensibilitat a Nivell Comarcal.

A Nivell Comarcal			Escenari 1			Escenari 2			Escenari 3			Escenari 4		
Dies/any*			270			270			220			220		
Hores/dia (h)			24			24			24			16		
Treballadors			6			6			6			4		
Sou brut treballador/any (€)			22.500			30.000			30.000			30.000		
Procés pel·letització (300.000€)			Sí			Sí			Sí			Sí		
	Preu compra biomassa (€/t)	Venda de biochar (€/t)	200	180	167.5	200	188.7	176.1	208	200	195	238	225	200
IR Vàlid > 1	30€		4,46	3,63	3,10	4,10	3,63	3,10	3,15	2,88	2,71	2,44	2,14	1,58
	40€		3,94	3,10	2,58	3,58	3,11	2,58	2,73	2,45	2,28	2,16	1,86	1,29
	50€		3,42	2,58	2,06	3,05	2,58	2,05	2,30	2,03	1,86	1,87	1,58	1,01
	60€		2,90	2,06	1,53	2,53	2,06	1,53	1,87	1,60	1,43	1,59	1,29	0,72
	70€		2,37	1,53	1,01	2,01	1,54	1,01	1,45	1,18	1,01	1,30	1,01	0,44
	80€		1,85	1,01	0,49	1,49	1,01	0,49	1,01	0,75	0,58	1,01	0,72	0,15

Font: Elaboració pròpia.

11.6 Escenaris de futur

El producte líquid de la piròlisi ràpida, el bio-oli, té l'avantatge de ser un combustible que es pot emmagatzemar i transportar, així com una potencial font d'un nombre de productes químics valuosos que ofereixen un major valor afegit que els combustibles (**figura 27**). No solament obtenim el bio-oli amb la piròlisi ràpida, sinó que com ja hem comentat, canviant les condicions d'operació podem arribar a obtenir fins a un 60% de producte a la piròlisi convencional, que és la que apliquem a la nostra planta de processament de biomassa.

El bio-oli ha estat utilitzat com a combustible de calderes i també ha mostrat ser prometedora en motors dièsel i aplicacions de turbines de gas. Actualitzar el bio-oli a una qualitat de combustibles líquids de transport segueix plantejant diversos problemes tècnics i en l'actualitat no és econòmicament atractiu. Alguns productes químics, especialment els produïts a partir de la totalitat de bio-oli (per exemple, fertilitzants), ofereixen oportunitats comercials més interessants. Si ens preguntem el per què el bio-oli no és d'aplicació actualment a gran escala com a combustible, podem dir que:

- El cost del bio-oli és de 10% a 100% més car que els combustibles fòssils.
- La manca de normes per a l'ús i la distribució de bio-oli i una qualitat inconsistent inhibeix l'ús més ampli. Es requereix un treball considerable per caracteritzar i normalitzar aquests líquids i desenvolupar una gamma més àmplia d'aplicacions energètiques.
- Les calderes s'han d'adaptar per a cremar aquest bio-oli i no es pot fer directament. A més a més, encara no existeix un mercat "real" del bio-oli, encara que hi ha experiències a Finlàndia on se n'ha utilitzat. El pèl·let de biochar, en canvi, està en una situació molt inicial i es pot dir que és desconegut, encara que és molt més assequible d'aconseguir.
- La incompatibilitat del bio-oli amb els combustibles convencionals i, per tant, la necessitat en la dedicació de sistemes de manipulació de combustible.
- Els usuaris no estan familiaritzats amb el bio-oli.
- Es necessita més investigació en el camp de la piròlisi ràpida i les proves de bio-oli, per desenvolupar aplicacions a gran escala.

Les qüestions més importants que s'han d'abordar semblen ser:

- . Ampliació.
- . Reducció de costos.
- . Una millor qualitat de l'oli pirolític.

- Normes i estàndards pels productors i usuaris.
- Qüestions de seguretat i salut en el maneig, transport i l'ús.
- Estímul per als desenvolupadors per implementar processos i els usuaris per implementar aplicacions.
- La difusió d'informació.

Tot això ens deixa entreveure que el bio-oli pot ser un producte de futur si s'avança en tots aquests camps que hem comentat anteriorment. Així doncs i com a principals escenaris o perspectives de futur del bio-oli tenim en un primer pas, la substitució dels fueloils en la producció de calor. Amb aquesta possible substitució de combustibles fòssils per bio-oli en un futur, les emissions de diòxid de carboni generades en la producció de calor es podrien reduir més del 90%

En segon lloc les aplicacions de futur poden ser més destinades a la refinació de productes amb un major valor de mercat (per exemple, els combustibles utilitzats pel trànsit/transport).

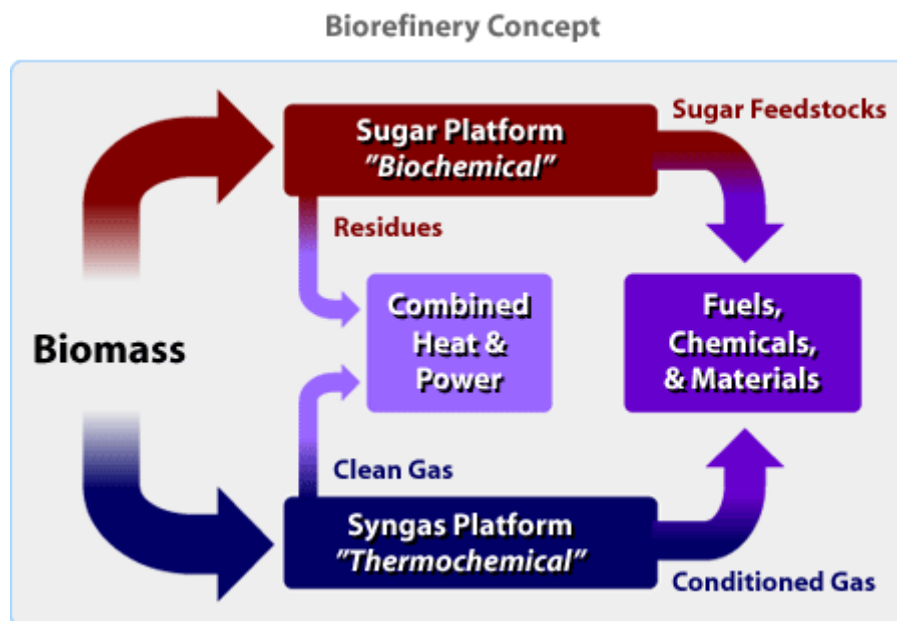


Figura 27. Biorefineria. Font: <http://www.nrel.gov/biomass/biorefinery.html>

BLOC IV - CONCLUSIONS

12. Conclusions

Un cop realitzat el projecte podem determinar les conclusions finals.

Primer de tot, podem afirmar que la biomassa és una energia renovable amb present però sobretot amb molt de futur. Com totes les energies renovables, és una font d'energia que té uns recursos il·limitats, si entenem que la vegetació (biomassa general) no s'esgota. A partir d'aquí hem vist els diferents mètodes de tractaments per poder tractar la biomassa, centrant-nos en els tractaments termoquímics.

Un cop comentat tot això, cal destacar els productes que ens genera la piròlisi, que és el tractament termoquímic que hem emprat a la nostra planta de processament de biomassa.

- La piròlisi és el tractament que ens dona un nombre més variable de productes. En referim a que hi ha la possibilitat de realitzar una piròlisi lenta o una de ràpida, el que fa que variï el percentatge de producte final. En general, a la nostra planta es duu a terme una piròlisi convencional en tots els sentits, però modificant les condicions d'operació (que no arriben a ser com les d'una piròlisi ràpida), es pot arribar a altes fraccions de bio-oli, fins a un 60% aproximadament. Així doncs, aquesta tecnologia ens proporciona flexibilitat i robustesa.
- Un dels productes que obtenim en la piròlisi en baix percentatge, és el gas o syngas, que també obtenim en la gasificació. En aquest sentit, a la gasificació, com que el 85% del producte generat és gas, s'utilitza principalment per generar electricitat.
- Com a producte estrella tenim el char o biochar, que és el producte sòlid, proporciona energia mitjançant la seva crema en calderes que es pot destinar a escalfar l'aigua i proporcionar calefacció a les llars. En aquest sentit, existeix la possibilitat de densificar el char o biochar, generant pèl·lets de biochar, que són molt més energètics. Aquesta darrera opció és la que hem inclòs en les opcions que eren viables econòmicament parlant de la nostra planta de piròlisi, principalment a nivell comarcal, ja que les plantes tenen capacitat per treballar més hores al tenir una possible demanda major que a nivell local.
- Finalment, també es genera bio-oli, que si bé no és gaire utilitzat actualment, és un producte de molt de futur, com hem comentat en **l'apartat 11.6**, com a combustible i producte químic ("biorefineries").

Si comparem el pèl·let de biochar amb el pèl·let convencional de fusta veurem que el primer és més energètic que el segon. Tot això ho podem observar a la

taula 19, on ens diu que el pèl·let de biomassa convencional té un poder calorífic (PCI) entre 15 i 16 MJ/kg mentre que el pèl·let de biochar entre els 20 i 24 MJ/kg.

Si ens centrem purament amb els tipus de biomassa que hi ha actualment al mercat, com són l'estella, el pèl·let i la briqueta, podem afirmar, després de realitzar l'inventari, que:

- L'estella és la més utilitzada a nivell industrial i també en molts casos a instal·lacions o construccions grans com poden ser masies, granges, escoles, poliesportius...Tot aquest tipus d'instal·lacions presenten, en gran part, una sitja on el camió pot descarregar l'estella. La sitja anirà alimentant automàticament la caldera i per tant, és necessari d'un espai per poder-la emmagatzemar ja que ocupa més volum que el pèl·let.
- El pèl·let té un gran camí per recórrer, ja que per consums baixos com es dona a les llars, presenta avantatges sobre l'estella. És més car, però el seu poder calorífic és superior i per tant, amb menys quantitat escalfa molt més que l'estella. Això ho podem observar a la taula 16, on es mostra les diferències entre els respectius poders calorífics (PCI) de l'estella i el pèl·let essent el primer de 12,54 MJ/kg i el segon de 18 MJ/kg (entre 16-18). Pel que fa a la sitja, la caldera de pèl·let l'incorpora al damunt, i en general, és de dimensions molt més reduïdes i també l'alimenta de forma automàtica.

A més a més, cal afegir que a diferència del gasoil, el preu del qual depèn del comportament internacional del barril de petroli, el del pèl·let està condicionat només per l'índex de preus al consum; això fa que el cost del biocombustible arribi a ser fins a un 40% inferior al del gasoil amb uns rendiments energètics en calderes superiors al 90%.

En aquests darrers anys el pèl·let s'ha donat a conèixer i mica en mica va guanyant quota de mercat enfront les poderoses energies no renovables. De totes maneres, el pèl·let presenta algun inconvenient important per arribar a una major quota de mercat com el fet que és molt complicat d'introduir en pisos, ja que com hem comentat, es necessita d'espai per la caldera i la sitja que en la gran majoria de casos, aquests no disposen. Per tant, una dels temes clau de cara el futur és començar a adaptar els pisos i cases, aquestes últimes en menor mesura al no haver tants problemes d'espai, per poder construir-hi calderes i poder utilitzar la biomassa, en aquest cas el pèl·let, com a font d'energia per escalfar la llar i l'aigua.

Malgrat tot, us preguntareu per quin motiu exacte, la el pèl·let i l'estella no són tant utilitzats com haurien de ser, pel sol fet dels avantatges que acabem d'esmentar. La resposta és ben senzilla: tota nova tecnologia necessita uns anys perquè la societat vegi els seus punts positius i faci un canvi de mentalitat respecte al consum de les energies no renovables, com és el carbó i el gas

natural (utilitzats en la llar per escalfar-nos). Això, sumat a l'actual situació de crisi econòmica i que a més s'ha de fer una despesa econòmica (que no és petita) per la compra d'una caldera de biomassa, no ajuda en l'expansió final de la utilització de la biomassa com a font d'energia renovable, i en especial, la del pèl·let. No obstant, molta gent no sap que fent canvis i remodelant la caldera que té a casa la pot adaptar per poder cremar qualsevol tipus de biomassa incloent-hi pèl·lets de biochar o simplement biochar.

Un cop parlat de l'inventari, ens centrarem purament en extreure les conclusions de l'anàlisi econòmic pels diferents escenaris d'aprofitament de la biomassa:

Anàlisi econòmic a nivell local: per preu de venda de biochar fixat a 200€/tn i preus de compra de biomassa a 70 i 80€/tn (preus que considerem reals al ser proporcionats per la SERRADORA BOIX): **taula 22. A nivell Local**

- En tres dels quatre escenaris (1, 2 i 4) a nivell local, l'IR està per sota d'1 en els preus de compra i venda esmentats. Això significa que en el 75% dels escenaris no és viable econòmicament la realització del projecte.
- El tercer escenari és l'únic que té un IR per sobre d'1 en tots els casos i per tant, l'únic viable localment. El que genera la diferència respecte les altres opcions és el número d'hores que es treballa al dia (16h) i el fet que no s'inclouï el procés de pel·letització, que fa que no hi hagi un cost extra de 300.000€.
- El quart escenari és viable quan, augmentem el preu de venda del biochar fins als 230€/tn. En aquest cas, tots els IR estan per sobre d'1 i en concret pels preus de compra a 70 i 80€/tn, que són els que més ens interessin.
- **Conclusió:** podem afirmar que la construcció d'una planta de processament de biomassa per a la producció de biochar a nivell local **NO és viable econòmicament** parlant pels següents motius:
 1. Els costos que genera la planta no es poden amortitzar amb els dies i hores treballades, ja que són insuficients en tres dels quatre casos (1, 2 i 4).
 2. El procés de pel·letització comporta uns costos de 300.000€ que s'han de poder amortitzar amb més dies i hores de treball de la planta. Aquesta és una de les gran diferències respecte les plantes a nivell comarcal, on es treballa més dies i més hores. Als escenaris que incloïem procés de pel·letització per densificar el biochar, segon i quart, amb preu de venda a 200€/tn, els IR estaven per sota d'1 en la gran majoria de casos, incloent els preus reals amb que treballem.
 3. Si la planta treballa 16 hores (escenari 3 i 4), hi ha més producció que si en treballa 8, i tot aquest producte de més s'ha d'anar venent per poder seguir produint. En un context local,

creiem que la demanda no és suficient per sostenir una planta d'aquest tipus unit al context de crisi econòmica actual.

4. L'escenari 3, on solament es produeix biochar i que és del tot viable, pot presentar problemes en la demanda del producte al ser una planta a nivell local. En cas de venda de producte lluny del municipi, el transport del biochar pot encarir molt el seu preu final.
5. A l'escenari 4, quan s'augmenta el preu de venda del biochar fins a 230€/tn (color blau **taula 22**) tots els IR són superior a 1, i per tant, el projecte és viable. El problema que continuem tenint és el de la possible demanda, que encara es complica més quan el preu de venda s'encareix en aquest cas (passa de 200 a 230€/tn).

Així doncs, veient la impossibilitat de la realització del projecte a nivell local amb les condicions establertes (preus de compra a 70 i 80€/tn i preu de venda a 200€/tn), hauríem de buscar alguna alternativa per poder realitzar el projecte.

Una d'aquestes podria ser la compra de biomassa a un preu més econòmic, com podrien ser les restes de poda, si es troba a un preu de compra que vagi d'un rang dels 30 als 40€/tn, essent aquest últim el preu límit. Una altra possibilitat, seria la no inclusió del procés de pel·letització en cap cas, ja que augmenta els costos de manera significativa que no es poden amortitzar amb les hores i dies de treball en el context municipal que ens trobem.

Pel que fa a l'anàlisi econòmic a nivell comarcal: per preu de venda de biochar fixat a 200€/tn i preus de compra de biomassa a 70 i 80€/tn (preus que considerem reals al ser proporcionats per la SERRADORA BOIX): **taula 24. A nivell Comarcal**

- En dos dels quatre escenaris a nivell comarcal (opció 1 i 2) l'IR està per sobre d'1 en els preus de compra i venda esmentats. Això significa que en un 50% dels escenaris la construcció de la planta és viable econòmicament. Val a dir que en tots els escenaris incloem el **procés de pel·letització**.
- El tercer escenari presenta un IR per sobre d'1 en tots els casos menys pel preu de compra de biomassa a 80€/tn que és amb un dels preus reals que treballem .
- El quart escenari no és viable en un inici quan els preus de compra i venda són els esmentats anteriorment, però quan augmentem el preu del producte fins als 240€/tn, passa a ser possible.
- **Conclusió**: podem afirmar que la construcció d'una planta de processament de biomassa per a la producció de biochar a nivell comarcal **SÍ és viable econòmicament** parlant pels següents motius:

1. Els costos que genera la planta i el procés de pel·letització es poden amortitzar amb els dies i hores treballades, principalment amb el primer i segon escenari, on tots els IR estant per sobre d'1 i especialment amb els preus de compra de biomassa que nosaltres treballem. La gran diferència entre aquestes dues opcions, és que en la primera el sou brut dels treballadors a l'any és de 22.500€ i a la segona de 30.000€. Això ens genera menys Beneficis Després d'Impostos (BDI) en la segona que en la primera opció al tenir més costos. A tall d'exemple, per preu de compra de la biomassa a 80€/tn, el BDI del primer escenari és de **187.009,20€/any** i el del segon de **155.509,20**.
2. A la tercera opció, com acabem de comentar anteriorment, teníem per el preu de compra de biomassa a 80€/tn un IR per sota 1 (amb preu de venda a 200€/tn). Així doncs, hem decidit augmentar el preu de venda del producte fins a tenir un IR més gran a 1 per la compra de biomassa a 80€/tn. Finalment, el producte s'ha vist incrementat en 10 euros (de 200 a 210€/tn) fent factible el projecte de la planta per tots els casos. Aquest increment de preu no creiem que pugui afectar la compra de producte ja que és una petita pujada i la podem aplicar solament al pèl·let, al tenir més poder calorífic que el biochar, deixant el preu de biochar en 200€/tn.
3. A l'escenari 4, a diferència de tots els altres, teníem uns IR inferiors per els preus de compra que ens interessaven (70 i 80€/tn) i un preu de venda del producte a 200€/tn (**valors vermells a la taula NUM**). Donada aquesta situació, decidim augmentar el preu de venda del producte fins a 240€/tn (color blau **taula 24**) fent que tots els IR siguin superiors a 1, i per tant, el projecte sigui viable. Malgrat tot, el problema que tenim en aquesta última opció és que aquest preu és car si el comparem als 200€/tn que tenim fixat el producte. La gran diferència d'aquesta opció amb bàsicament les dos primeres i, en part, la tercera, són les hores i els dies treballats. Mentre que en la primera i segona es treballa 270 dies i 24 hores/dia, en l'actual escenari solament se'n treballa 220 dies i 16 hores.

En definitiva, com a **conclusió final** podem afirmar que el que marca molt la diferència són les dies i hores treballats a la planta, ja que al treballar més produeixes més i pots amortitzar els costos. Òbviament que també afecta el preu en que comprem la biomassa, però el fet que els preus reals siguin els més cars fa que la seva possible variació no generi canvis radicals en la viabilitat del projecte, a no ser que siguin a la baixa. Tot el contrari passa amb el preu de venda del producte, ja que quan aquest el variem permet que els IR dels diferents escenaris puguin ser majors o menors a 1, com hem fet en

l'apartat **11.3. A nivell Local, 11.4. A nivell comarcal i 11.5. Anàlisi de sensibilitat**. A més a més, s'ha de tenir en compte que el fet que existeixi procés de pel·letització, ens permet obtenir un producte encara més preuat, com és el pèl·let de biochar, que sempre es pot vendre a més de 200€/tn, tenint en compte que és una hipòtesis conservadora. D'altra banda, si no es pel·letitza, també s'obté un producte torrefacte sense aigua que pot fer viable el projecte.

Ja per acabar, per poder copsar bé les diferències entre els diferents tipus de productes, compararem el pèl·let de biomassa, el pèl·let torrefacte i el pèl·let de biochar.

- Tal com ens mostra la **Figura 21. Pel·letització, torrefacció i procés TOP**, el pèl·let de biomassa i el pèl·let torrefacte són dos productes totalment diferents, ja que el primer no passa pel procés de torrefacció i això genera una diferència tan substancial que la podem veure amb els Poders Calorífics (PCI). Mentre que el pèl·let de biomassa (**Taula 19. Propietats de la biomassa, pèl·lets de biomassa, pèl·lets torrefactes, carbó de llenya i carbó**) té un PCI de 15-16 MJ/Kg el pèl·let torrefacte té un PCI d'entre 20-24 MJ/Kg.
- Si fem la mateixa comparació que en el cas anterior, però aquest cop agafant el pèl·let torrefacte i el pèl·let de biochar, veurem que el segon té un PCI superior, encara que no el sabem, pel fet que ha passat el procés de piròlisi. El pèl·let torrefacte, com hem comentat anteriorment, té un PCI d'entre 20-24 MJ/Kg i el biochar (antecessor del pèl·let de biochar quan passa el procés de pel·letització) de 30-32 MJ/Kg. Això ens porta a afirmar que el pèl·let de biochar tindrà un PCI superior al biochar al haver estat densificat, i òbviament també superior al pèl·let torrefacte. Així doncs, estem parlant d'un producte que té un poder calorífic gran i que revolucionarà el mercat de les energies renovables durant els següents anys.

13. Propostes de futur

Una de les propostes de futur que podem fer després de la realització d'aquest projecte és la utilització del biochar com a fertilitzant.

El biochar és un producte ric en carboni d'elevada estabilitat i resistència a la degradació microbiana que s'obté per descomposició tèrmica de biomassa (piròlisi) i és emprat com a esmena del sòl. El biochar pot millorar la fertilitat del sòl per la seva influència positiva en les propietats físico-químiques (ex. increment de la retenció d'aigua, l'agregació, la permeabilitat i l'adsorció d'ions), augmentant la producció vegetal. El biochar també pot estimular l'activitat microbiològica del sòl en actuar com un hàbitat de refugi per aquests microorganismes. Per l'elevada estabilitat del carboni que conté, la producció de biochar s'ha proposat com una tecnologia per incloure en les estratègies energètiques orientades a la mitigació del canvi climàtic.

Així doncs i de cara el futur, l'estudi dels efectes potencials del biochar sobre la dinàmica de la matèria orgànica del sòl i sobre el metabolisme de les xarxes tròfiques edàfiques, que desenvolupen un paper clau en la fertilitat del sòl i en la producció dels conreus, així com la seva contribució potencial al segrest de carboni.

Una segona proposta de futur que podem extreure després de realitzar aquest projecte és la de producció de bio-oli, ja sigui com a combustible (de calderes i de transport), com a producte químic. També tenim el repte de la producció de bio-oli compatible amb els motors dels cotxe, que faria que no hi hagués una dependència del petroli, amb el que això significa, i que a més, beneficiaria el medi ambient al ser una font d'energia molt poc contaminant. Aquí, un dels problemes que existeix és que el bio-oli és àcid i té un contingut alt en aigua, i per tant, no es pot posar en el tanc d'un automòbil, encara que es barregi amb la gasolina.

Actualment, l'ús de bio-oli per escalfar les nostres cases i fer anar els nostres vehicles de transport és una mica complicat. L'oli pirolític és únic pel fet en que té aproximadament un 25% d'aigua (o una mica més i tot com ja hem comentat en apartats anteriors). També és molt ric en oxigen i el seu pH és 2,5, pel que és àcid. Això significa que el bio-oli és altament corrosiu, i es necessita de cara el futur modificacions en el dipòsit d'oli si es vol utilitzar per exemple, com a combustible per esclafar una casa.

A més a més, l'oli pirolític no és molt uniforme en qualitat. Amb el temps, la viscositat, és a dir, el seu gruix, canvia i l'oli es torna menys mòbil. Els problemes també es plantegen per la separació de fases, és a dir, la separació de les fases aquosa i oliosa. Conseqüentment, el bio-oli és difícil d'emmagatzemar sumat a que té un punt d'inflamació baix, el que el fa altament inflable, encara que no crema el temps que ho pot fer el fueloil,

A més, el fet que cada cop les existències de petroli es van acabant i és més costós extreure'n i per tant el seu preu (pel fet que els pous estan a llocs remots i a gran profunditats), fa que el bio-oli sigui un producte de molt de futur i a tenir en compte, si es busca solució a tots aquests problemes que planteja.

Ja per acabar, una última proposta que faríem després de realitzar el projecte, és la implementació de la planta de piròlisi de processament de biomassa, és a dir, la planta que acabem d'analitzar. Segons les conclusions extretes és un mètode viable econòmicament parlant, almenys a nivell comarcal, però que per poder-lo tirar endavant ha d'haver dos condicions de cara al futur com són una quota de mercat que actualment no hi és i el canvi de mentalitat cap a les energies renovables per part de la societat.

Els productes que genera aquest tipus de planta, com són el biochar i el possible pèl·let de biochar, ja hem demostrat que tenen un Poder Calorífic més que acceptable, però el problema que presenten és la desconeixença per part de la societat i que encara no estan al mercat.

BLOC V - REFERÈNCIES

14. Bibliografia

Llibres i Articles

- BARTOLÍ, J; PUY, N. (2007). La biomassa i els biocombustibles: Pros i contres.
- CORDERO, E. (2004). Apuntes sobre la composició química de la maderes.
- BOADA, M. (2003). Boscos de Catalunya: història i actualitat del món forestal. Figueres. Ed. Brau.
- M.J.C. van der Stelt, H. Gerhauser, J.H.A. Kiel, K.J. Ptasinski (2011). *Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review.*
- PUY, N (2010). *Integrated Sustainability of innovative uses of forests biomass. Bio-oil as energy vector.*
- Tumuluru. J; Sokhansanj S; Hess J.R; Wright.C; and Boardman R. (2011). *A review on biomass torrefaction process and product properties for energy Applications.*
- Ciolkosz, D; Wallace. R. (2011) *A review of torrefaction for bioenergy feedstock production.*
- A project funded by DECC, project managed by NNFCC and conducted by E4Tech (June 2009). *Review of Technologies for Gasification of Biomass and Wastes.*
- Lehmann, J. (2007) *Bio-energy in the Black.*
- Bridgwater, A.V; Peacocke, G.V.C. *Fast pyrolysis processes for biomass.*
- Bridgwater, A.V; Toft, A.J, Brammer, J.G. (2002) *A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion.*
- Czernik, S; Bridgwater, A. V. (2004) *Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oil.*
- Mohan, D; Pittman, C.U; Steele, P.H. (2006) *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review.*
- Institut Català d'Energia (ICAEN) (Setembre 2010). Els usos energètics de la biomassa forestal. Número 174.

-. Institut Català d'Energia (ICAEN) (Juny 2012). El mercat emergent de la biomassa forestal. Número 180.

Pàgines web

<http://www.biomassstradecentre2.eu/Biomass-Trade-Centrell/>

<http://www.csiro.au/files/files/pnzp.pdf>

-Bio-oli: http://www.uef.fi/fi/uef-bulletin/home/-/asset_publisher/EtH1/content/bio-oil-%E2%80%93-the-new-black-gold-

-Torrefacció:

<http://www.negociotecnologico.com/2011/07/bio-carbon-de-torrefaccion/>

-Observatori de la biomassa: <http://observatoribiomassa.forestal.cat/>

-Institut Català de l'Energia: <http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen>

-Centre Forestal Tecnològic de Catalunya: <http://www.ctfc.cat/>

-InfoBiomassa: <http://infobio.ctfc.cat/?p=2886&lang=es>

-Biomassa al Lluçanès: http://forestal.llucanes.cat/noticies_projecte_biomassa

-Planta de piròlisi: <http://www.youtube.com/watch?v=jj-URSSF5WE>

-Usos del bio-oli:

<http://www.greener-industry.org.uk/pages/renewable/2renewableBioOil.htm>

-Biogreen i ETIA: <http://www.biogreen-energy.com/> ; <http://www.etia.fr/>

-Consorci Forestal de Catalunya: www.forestal.net

-CREAF: <http://www.creaf.uab.cat/cat/index.htm>

-Departament de Medi Ambient i Habitatge: <http://mediambient.gencat.cat/cat/>

15. Pressupost

Taula 27. Despeses dels recursos materials i d'oficina.

Despeses	Tipus	Preu unitari (€)	Unitats	Preu
Material d'oficina	Material d'oficina	0.05	500	25
	Impressió projecte	6.5	3	19.5
	Enquadernacions	1.3	3	3.9
	CD's	2	3	6
TOTAL (€)				54.4

Font: Elaboració pròpia.

Taula 28. Despeses dels recursos humans.

Despeses	Tipus	Preu/hora (€/h)	Hores (h)	TOTAL (€)
Honoraris	Treball de camp	17	20	340
	Treball d'oficina	13	400	5200
TOTAL (€)				5540

Font: Elaboració pròpia.

Taula 29. Despeses de transport.

Despeses	Preu(€)
Transport (250 km a 0,1€/km)	25
TOTAL	25

Font: Elaboració pròpia.

Taula 30. Despeses totals del projecte.

Despeses	Preu(€)
Total sense IVA (material d'oficina + honoraris + transport)	$25 + 5540 + 54.40 = 5619.4$
IVA 21%	1180.07
TOTAL	6799.47€

Font: Elaboració pròpia.

ANNEX

A) Usos de la biomassa en equipaments públics

Taula 31. Calderes d'estella en equipaments municipal instal·lades a Catalunya (2009).

Tipus instal·lació	Municipi	Comarca	Potència KW
Pavelló esportiu	Alp	Cerdanya	150
Escola	Alp	Cerdanya	250
Pavelló esportiu	Arbúcies	Selva	150
Ajuntament i casal d'avis	Argençola	Anoia	90
Oficina DMAH	Bellver	Cerdanya	50
Pavelló, piscina, escola...	Bellver	Cerdanya	150
Escola bressol	Canet de Fals	Bages	42
Cap, bressol, escola	Castellfollit de Boix	Bages	90
Escola bressol	Esterri d'Àneu	Pallars	30
Ajuntament	Lluça	Osona	100
Institut, pavelló...	Olost	Osona	250
Escola, casal,...	Planoles	Ripollès	100
Escola bressol	Sant Cebrià de Vallalta	Maresme	150
Pavelló esportiu	Sant Antoni Vilamajor	Vallès Oriental	60
Pavelló esportiu	Sant Guim de Freixenet	Segarra	400
Pavelló esportiu	Sant Joan de Vilatorrada	Bages	250
CTFC	Solsona	Solsonès	350
Deixalleria	Sort	Pallars	35
Piscina	Torelló	Osona	2x250
Centre cívic	Vallfogona Ripollès	Ripollès	50
Piscina i Centre cívic	Begues	Baix Llobregat	2x500
Pavelló esportiu	Sant Cebrià de Vallalta	Maresme	220
TOTAL			3.017 kW

Font: Institut Català d'Energia. Centre de la Propietat Forestal de Catalunya (CPF).

Taula 32. Calderes de pèl.let en equipaments municipal instal·lades a Catalunya (2009).

Tipus instal·lació	Municipi	Comarca	Potència KW
Local social	Baronia de Rialb	Noguera	20
Ajuntament	Baronia de Rialb	Noguera	45
CEIP	Linyola	Segrià	220
Pavelló esportiu	Llinars del Vallès	Vallès Oriental	1075
Oficines Parc Alt Pirineu	Montferrer i Castellbó	Alt Urgell	12
Escola Bressol	Muntanyola	Osona	22
Ajuntament i casal d'avis	Olost	Osona	60
CEIP i IES	Prats de Lluçanès	Osona	300
Ajuntament	Sant Feliu Saserra	Osona	45
CEIP	Sant Feliu Saserra	Osona	60
Escola Bressol	Sant Pol de Mar	Maresme	100
Consorti Lluçanès	Santa Creu de Jutglar	Osona	40
Escola Bressol	Santa Eulalia Ronçana	Vallès Oriental	60
Pavelló esportiu	Sant Llorenç Savall	V. Occidental	30
CEIP, Marià Galí	Terrassa	V. Occidental	110
CEIP President Salvans	Terrassa	V. Occidental	110
Escola Bressol Torre-sana	Terrassa	V. Occidental	86
Pavelló esportiu	Vic	Osona	4x56
Escola Bressol	Sant Boi de Lluçanès	Osona	20
TOTAL			5.497 kW

Font: Institut Català de l'Energia i Centre de la Propietat Forestal de Catalunya (CPF).

B) Usos de la biomassa en empreses

Productors d'estella a Catalunya que també produeixen altres tipus de biomassa.

Taula 33. Productors d'estella a Catalunya el 2012

Adomgri, SLU	Valls (Alt Camp)
Alameda Torrent S.L.U	Caçà de la Selva (Gironès)
Apensol, SL	Solsona (Solsonès)
Aplicacions Energètiques de la Fusta S.L	Sant Martí d'Albars (Osona)
Biomaspallars	San Romà d'Abella (Pallars Jussà)
Biomassa d'Osona	Vic (Osona)
Biomassa del Gironès, SL	Les Preses (Garrotxa)
Cooperativa productes forestals del Bages	Manresa (Bages)

Desbrossadores Danés, S.L	Bellcaire d'Empordà (Baix Empordà)
Ecotermik-Recuperació forestal, SL	Solsona (Solsonès)
Empresa d'Inserció Sociolaboral i Serveis Ambientals de la Serra de Llaberia S. L	Serra d'Almos (Ribera d'Ebre)
Enerfust XXI	Caçà de la Selva (Gironès)
Erober 05, S.L	Viladrau (Osona)
Explotacions Forestals Carné	Castellar del Vallès (V. Occidental)
Fitor Forestal , S.L	Fonteta (Baix Empordà)
Forestal Soliva SL	Santa Coloma de Farners (Selva)
Franc Alou	La Torre de Capdella (Pallars Jussà)
Fresal Innovación, SL - gestión de residuos de madera, valorización y trituración	Hospitalet de Llobregat (Barcelonès)
Fustes Jané, SL	Solsona (Solsonès)
Futur Ecològic , S.L	Viladecavalls (V. Occidental)
Iniciatives Forestals d'Argençola , SCP	Argençola (Anoia)
J. Famadas SLU	Argentona (Maresme)
Jardineria Forestal SL	El Perelló (Baix Ebre)
Joan Planas Vilardaga	Sant Mateu de Bages (Bages)
Matèries Forestals	Arbúcies (Selva)
Pere Garet i Bosch	Lluçà (Osona)
Productes i Serveis de la Vall , SCCL	Espinavell (Ripollès)
Productes Forestals de la Catalunya Central	Sant Joan de Vilatorrada (Bages)
Recuforest , SL	Cruilles (Baix Empordà)
Romà polibiomasa SL	Miralcamp (Plana d'Urgell)
Sala Forestal SL	Celrà (Gironès)
Sefocat	Sort (Pallars Sobirà)
Serradora Boix, SL	Puig-Reig (Berguedà)
Trenchsalvic SL	Sant Boi de Llobregat (Baix Llobregat)
Wattverd	Centelles (Osona)

Font: Institut Català de l'Energia i Centre de la Propietat Forestal de Catalunya (CPF).

16. Cronograma

		Febrer			Març			Abril			Maig			Juny			Juliol			Agost		
Recopilació d'informació + inici del projecte	Plantejament del projecte																					
	Recerca d'informació																					
	Formalització del projecte																					
	Sortides de camp																					
Redacció de la memòria	BLOC I																					
	BLOC II																					
	BLOC III																					
	BLOC IV																					
	BLOC V																					
	Contacte amb experts																					
	Reunions amb el tutor																					
Fase final	Revisió																					
	Redacció dels apartats extres																					
	Impressió																					

Taula 34. Cronograma. Font: Elaboració pròpia.