

Introducció general

En el present capítol es descriuen l'ús potencial de la biomassa com a font d'energia renovable i les principals alternatives tecnològiques per assolir aquest propòsit. D'entre aquestes, la piròlisi destaca com una de les opcions més prometedores.

1.1. La biomassa: generació i vies de tractament

Amb el terme *biomassa* es defineix tota la matèria orgànica que es produeix en les plantes verdes mitjançant el procés de la fotosíntesi, així com la que s'origina en els processos de transformació de la matèria orgànica, processos que poden ser naturals o artificials. La biomassa té una estructura química complexa en la qual destaquen tres polímers naturals: l'hemicel·lulosa, la cel·lulosa i la lignina.

La formació i la transformació de la matèria orgànica han de ser recents, fet que exclou del concepte de *biomassa* els combustibles fòssils, la formació dels quals va tenir lloc fa milions d'anys.

Durant segles, la biomassa ha tingut un paper molt important en el desenvolupament de la civilització. Actualment, la biomassa segueix oferint a la humanitat les substàncies bàsiques per al seu desenvolupament. Tanmateix, la seva utilització com a font d'energia primària presenta un desequilibri territorial. Mentre que en els països industrialitzats, l'aprofitament de la biomassa amb finalitats energètiques se situa al voltant del 3,5%, en els països en via de desenvolupament constitueix la principal font d'energia.

La biomassa es pot aprofitar directament com a combustible a través d'un procés de combustió o bé es pot transformar en altres substàncies combustibles. La realitat és que, en general, les característiques d'aquest biocombustible no són millors que les dels combustibles fòssils, ja

que la biomassa té una baixa densitat energètica i un elevat grau d'humitat i no es pot emmagatzemar molt de temps perquè es deteriora. Tanmateix, el seu potencial energètic és prou elevat per justificar l'estudi i el desenvolupament de tecnologies que en permetin l'ús eficient com a font d'energia renovable.

1.1.1. Classificació de la biomassa

Actualment, la major part de la biomassa vegetal és utilitzada com a aliment i com a primera matèria per a l'obtenció de substàncies diverses. Però no en totes les activitats associades a aquesta finalitat és possible aprofitar el 100% de la biomassa vegetal, de manera que es generen una gran quantitat de productes orgànics considerats residus. Aquest conjunt de substàncies orgàniques provinents de l'ús, la transformació i el consum de la biomassa vegetal o primària s'anomena *biomassa residual*.

En els darrers anys s'han desenvolupat conreus de plantes amb un elevat contingut energètic amb la finalitat d'utilitzar-les com a font d'energia. La biomassa vegetal obtinguda d'aquesta manera s'anomena *conreu energètic*.

La figura 1.1 mostra un esquema de classificació de la biomassa, proposat per Castro i Sánchez (1997).

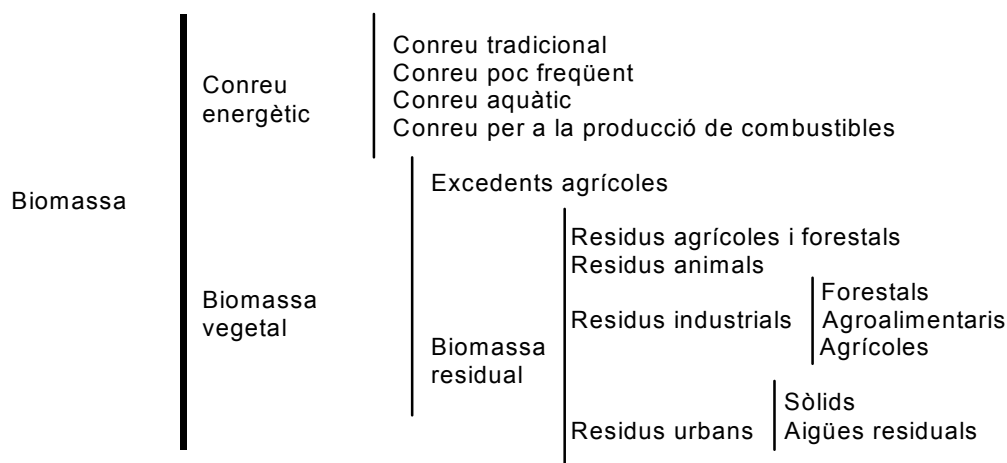


Figura 1.1. Classificació dels diferents tipus de biomassa

Les característiques principals de la biomassa residual des del punt de vista energètic són:

- El seu valor econòmic, que pot ser positiu (la biomassa pot tenir altres utilitats, a més de l'energètica), negatiu (el residu conté substàncies contaminants) o nul (la incineració es presenta com l'únic tractament possible de la biomassa residual).

- Una producció no constant en el temps i, de vegades, la impossibilitat d'emmagatzematge a llarg termini.
- Una utilització fortament condicionada als costos del transport fins a la instal·lació de tractament, que varien en funció de la densitat de producció i de la densitat energètica del residu.

Les grans categories de biomassa residual són les següents:

- **Residus agrícoles**

S'obtenen directament de la planta conreada en separar la part aprofitable com a aliment o com a primera matèria per a la indústria. La palla i la tija dels cereals i els residus de llenya provinents de la poda de fruiters, d'oliveres i de vinyes, representen les principals manifestacions d'aquesta tipologia de residus.

- **Residus forestals**

L'origen d'aquests residus es pot atribuir a dues activitats: el procés de manteniment i neteja de boscos i l'explotació de boscos per a ús industrial de la fusta. Els residus originats són branques, escorces i serradures.

- **Residus animals**

Poden provenir d'animals vius (fems, purins...) o d'animals morts (residus d'escorxadors).

- **Residus industrials**

Malgrat que el terme és molt ampli i que són molts els sectors que poden generar residus de caràcter orgànic, distingim dues grans categories de residus industrials:

- a) D'origen forestal: derivats de la producció de fusta (serradures, retalls...), de suro i de pasta de paper (licors negres).
- b) D'origen agroalimentari: derivats de l'extracció d'oli de sansa de l'oliva, de l'elaboració de fruits secs (closques de pinyons, d'ametlles...), de la indústria sucrera (bagàs de canya de sucre), de la fabricació de cervesa (bagàs i llots de depuradora)...

- **Residus urbans**

Són els residus generats en els nuclis de població i un dels principals problemes ambientals de la societat. Es classifiquen en dos grans grups: residus sòlids urbans (RSU) i aigües residuals urbanes (ARU).

Els RSU presenten una composició molt variable i el seu aprofitament energètic obliga a realitzar un procés minuciós de separació de les substàncies inertes (vidre i metalls,

principalment). En general, el contingut de matèria orgànica se situa al voltant del 50%, encara que aquest valor depèn sensiblement de les dimensions del municipi i del nivell de vida dels seus habitants.

Mitjançant la depuració de les ARU s'obtenen els llots de depuradora, biomassa residual amb una composició elevada de matèria orgànica i d'humitat.

1.1.2. Vies de tractament

En aquest punt es presenten de manera breu els diferents processos de transformació de la biomassa per a la seva revalorització.

Les vies de transformació poden tenir com a finalitat l'obtenció de calor i/o d'electricitat o l'obtenció de productes de valor afegit, com, per exemple, combustibles líquids, carbons vegetals o gasos combustibles, cosa que s'aconsegueix per mitjà de tecnologies més sofisticades.

Les vies de transformació poden classificar-se en dos grans grups: bioquímiques i termoquímiques.

- **Vies de transformació bioquímica**

Biometanització o digestió anaeròbica: és un procés en el qual un grup de microorganismes, en absència d'aire, degraden la matèria orgànica. El resultat d'aquesta degradació, i producte final, és l'anomenat *biogàs* (format principalment per metà i diòxid de carboni i amb un poder calorífic superior (PCS) d'aproximadament 23.000 kJ/m³).

Fermentació: és el procés de producció d'alcohol etílic mitjançant llevats que descomponen la glucosa. Generalment, aquest procés va precedit d'un pretractament per hidrolitzar els compostos complexos i poder aïllar la molècula de glucosa.

- **Vies de transformació termoquímica**

Combustió: és el procés més conegut. Es tracta d'una oxidació total del combustible per obtenir diòxid de carboni, vapor d'aigua i energia en forma de calor. Els paràmetres que condicionen la bona marxa del procés són: les característiques físiques de la biomassa (humitat i densitat, principalment), les característiques químiques de la biomassa (composició elemental, contingut de volàtils, carboni fix i matèria inorgànica) i, en definitiva, les característiques energètiques (PCS) del biocombustible (la taula 1.1 mostra alguns valors de PCS de diverses biomasses).

La instal·lació principal d'aquest procés és una caldera on es crema el combustible amb l'única finalitat d'obtenir calor. Aquesta energia tèrmica no es pot emmagatzemar, però sí que es pot utilitzar de manera directa o indirecta a través d'un procés de bescanvi tèrmic. La combustió de biomassa també es pot emprar per produir electricitat o per produir conjuntament energia tèrmica i energia elèctrica en instal·lacions de cogeneració. El rendiment d'aquests processos és, en línies generals, força baix (15%–18%) i se situa clarament per sota de l'obtingut en instal·lacions de gasificació integrada en cicle combinat (TAB, 2001).

Taula 1.1. PCS d'alguns tipus de biomassa (font: Castro i Sánchez, 1997)

Producte	PCS (kJ/kg)
Pi	
Escorça	18.613
Serradures	17.606
Fusta	21.180
Alzina	
Fusta	20.400
Closques de fruits secs	
Ametlla	19.944
Avellana	18.855
Pinyons	20.605
Paper	
Paper i cartró	18.520
RSU	21.200

Gasificació: és un procés que es basa en la reacció endotèrmica entre el carboni i el vapor d'aigua per generar un gas compost principalment per hidrogen i monòxid de carboni. Tanmateix, i tenint en compte la poca viabilitat econòmica d'aquest procés quan s'aplica a combustibles residuals, el terme *gasificació* també es fa servir per a altres agents gasificants. En el context de la biomassa residual, s'entén per *gasificació* el procés d'oxidació parcial (entre un 20% i un 30% de la quantitat estequiomètrica d'oxigen) que es du a terme per obtenir un gas combustible de baix poder calorífic. L'agent gasificant pot ser una mescla d'aire i H₂O (el més freqüent) o una mescla d'oxigen pur i H₂O (que millora notablement la qualitat del gas obtingut a canvi d'un increment sensible dels costos productius). La composició i les característiques del gas depenen de l'agent gasificant i també de factors com ara la temperatura, el grau d'humitat del sòlid, les dimensions de la partícula i la tecnologia del gasificador emprat.

Piròlisi: és el procés de descomposició tèrmica de la matèria orgànica en un ambient inert. Aquest fenomen és d'una complexitat notable, ja que s'hi duen a terme tota una sèrie de reaccions de deshidratació, despolimerització, repolimerització i craqueig (Velo, 1998) per efecte de la temperatura (reaccions primàries, majoritàriament endotèrmiques) i de la interacció sòlid-vapor (reaccions secundàries de caire exotèrmic). Els productes que s'obtenen de la piròlisi són: una fase gasosa combustible, una fase líquida i una fase sòlida carbonosa (*char*).

Les condicions d'operació del procés (temperatura, velocitat d'escalfament i temps de residència) tenen un paper fonamental en els rendiments obtinguts per a cada fracció de producte (Orfao, Antunes i Figueiredo, 1999).

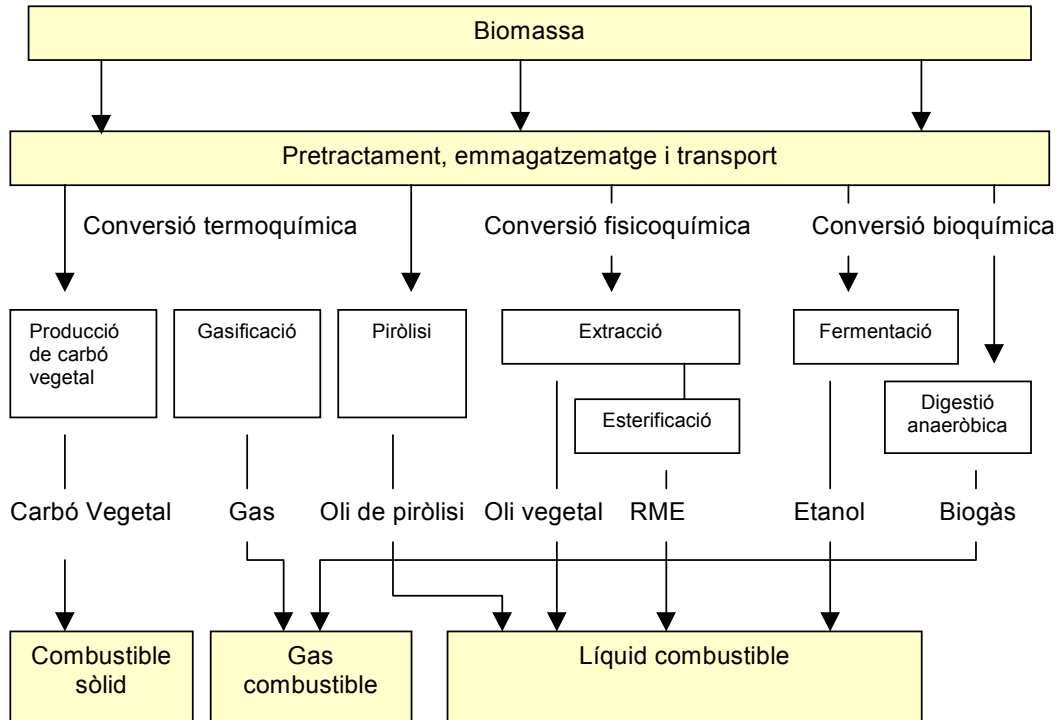


Figura 1.2. Possibilitats de revalorització de la biomassa

La figura 1.2, proposada per Kaltschmitt i Dinkelbach (1997), mostra un resum de les diferents alternatives d'aprofitament de la biomassa per obtenir productes amb valor afegit. Més endavant, en el punt 1.3, s'analitza l'estat de les tecnologies disponibles per a aquestes vies alternatives de tractament.

1.2. Estat actual i perspectives de la biomassa com a font d'energia

L'efecte hivernacle i altres conseqüències derivades de l'ús de combustibles fòssils, com ara la contaminació de les aigües i del sòl, han fomentat la necessitat d'explotar fonts d'energia renovable. Un cop analitzades les diferents possibilitats d'explotació directa o indirecta de l'energia solar, l'ús de la biomassa (energia solar «emmagatzemada») esdevé una de les opcions més interessants. En aquest punt s'analitzen l'ús potencial de la biomassa com a font d'energia primària i la política institucional orientada a fomentar aquesta font d'energia en l'àmbit de la Unió Europea.

1.2.1. Ús energètic potencial

A partir dels anys vuitanta, els països membres de la Comunitat Europea van començar a adonar-se de la necessitat d'establir polítiques per fomentar les energies renovables. Com a conseqüència de tot això, l'any 1997 es va publicar el Llibre Blanc sobre energies renovables de la Comissió Europea, on s'establia l'objectiu, jurídicament no vinculant, d'aconseguir una quota, per a les fonts d'energia renovable, del 12% d'energia primària abans del 2010.

El consum total d'energia primària (Eurostat, 1995) en el conjunt de la Unió Europea (UE) va ser l'any 1995 de 57,8 EJ, dels quals 46,4 EJ es van obtenir a partir de combustibles fòssils. El mateix any, el consum d'energia provinent de biomassa (concentrat majoritàriament en usos domèstics) va ser de 1.622 PJ, quantitat que representa un 3,5% del consum provinent de combustibles fòssils. La taula 1.2 mostra el consum d'energia primària provinent de les diferents fonts, dels estats membres de la UE.

Com es dedueix en analitzar la taula, la quota d'energia provinent de la biomassa era tan sols d'un 2,8%, molt lluny de l'objectiu fixat pel Llibre Blanc. Malgrat tot, el potencial energètic de la biomassa se situa al voltant d'un 13% respecte al consum total d'energia primària (Kaltschmitt i Dinkelbach, 1997). En la figura 1.3 es compara, per a cada estat membre, l'ús energètic de la biomassa i el límit potencial d'aquest ús.

Taula 1.2. Distribució del consum d'energia primària a la UE (font: Eurostat, 1995)

	Carbó	Petrolí	Gas natural	Combustibles fòssils (total)	Energia nuclear i hidroelèctrica	Biomassa	Total (sense comptar altres energies renovables)	% biomassa
	Dades en PJ/any							
Àustria	104,7	464,7	251,2	820,6	142,4	130,2	1.093,2	11,9
Bèlgica i Luxemburg	389,4	1.084,4	448,0	1.921,7	427,1	10,5	2.359,3	0,5
Dinamarca	276,3	443,8	121,4	841,5	0,0	32,8	874,3	3,7
Finlàndia	171,7	418,7	121,4	711,8	251,2	201,9	1.164,9	17,3
França	544,3	3.726,3	1.239,3	5.509,8	4.345,9	364,2	10.219,9	3,6
Alemanya	3.872,8	5.656,4	2.805,2	12.334,3	1.741,7	124,6	14.200,6	0,9
Grècia	355,9	711,8	0,0	1.067,6	12,6	58,5	1.138,7	5,1
Irlanda	83,7	242,8	87,9	414,5	4,2	6,7	425,4	1,6
Itàlia	464,7	3.973,3	1.800,3	6.283,3	150,7	136,7	6.525,8	2,1
Holanda	406,1	1.591,0	1.398,4	3.395,5	41,9	14,8	3.452,2	0,4
Portugal	163,3	540,1	0,0	703,4	29,3	99,1	831,8	11,9
Espanya	791,3	2.348,8	309,8	3.449,9	686,6	156,5	4.293,1	3,6
Suècia	87,9	715,9	29,3	833,2	967,2	275,7	2.076,0	13,3
Regne Unit	2.001,3	3.420,6	2.754,9	8.176,8	983,9	9,7	9.170,4	0,1
Total	9.713,4	25.338,5	11.367,2	46.149,1	9.784,6	1.621,8	57.825,4	2,8

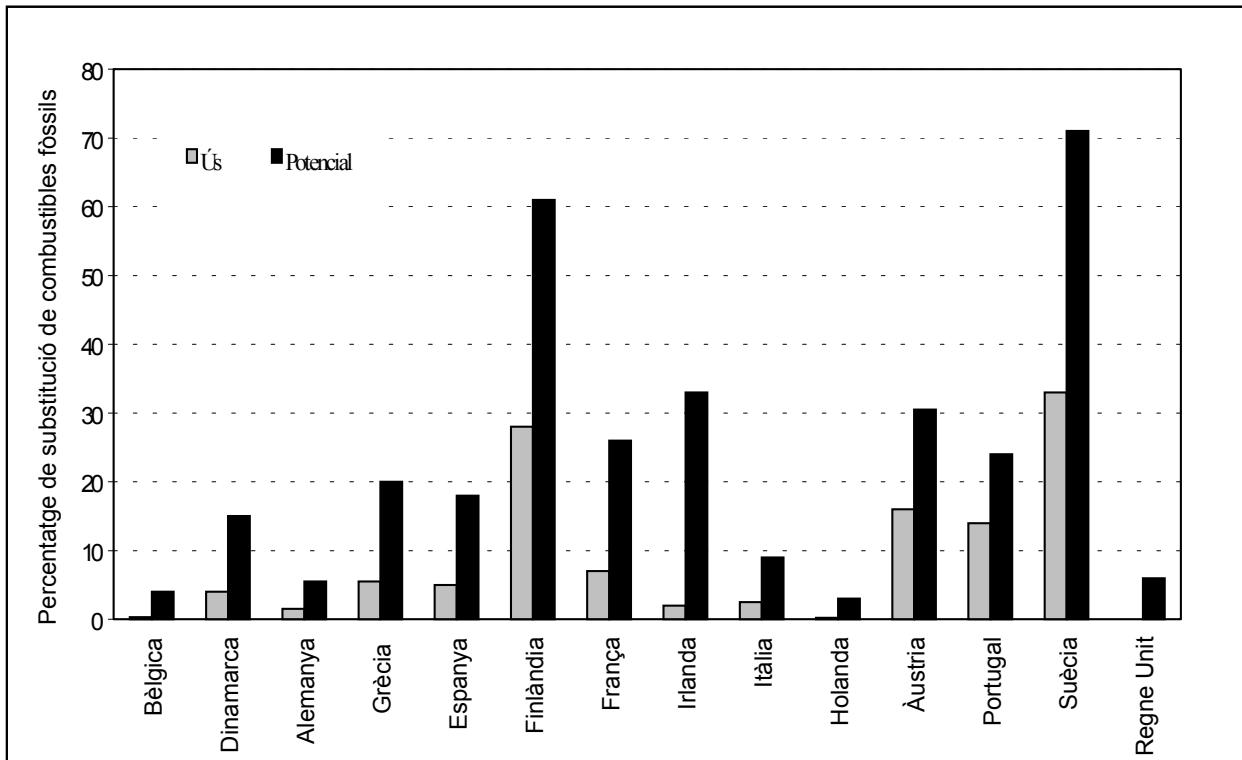


Figura 1.3. Ús actual i ús potencial de la biomassa per a la generació d'energia primària a Europa (font: Kaltschmitt i Dinkelbach, 1997)

1.2.2. Avantatges i inconvenients de l'obtenció d'energia a partir de la biomassa

Avantatges

En general, la biomassa es pot considerar, des d'un punt de vista ambiental i climàtic, una ferma opció per a l'aprovisionament d'energia. Els motius que fonamenten l'afirmació anterior són:

- El no-increment d'emissions de CO₂ a l'atmosfera, amb la consegüent contenció de l'efecte hivernacle.
- Els baixos nivells d'emissió de diòxid de sofre.
- Les possibilitats d'aprofitament de les cendres.
- L'allargament potencial de la vida dels recursos energètics fòssils.

La producció i la utilització de la biomassa ofereix la possibilitat de desenvolupar zones rurals no només per la possible millora de l'ocupació i la infraestructura, sinó també per l'establiment d'una activitat industrial associada a la producció d'energia a partir de biomassa.

Desavantatges

Malgrat els beneficis ambientals i socials de la biomassa, l'aprofitament energètic d'aquesta està molt per sota de les seves possibilitats. Aquest fet s'ha d'atribuir als elevats costos

associats a les tecnologies disponibles per al tractament de la biomassa. Els costos d'inversió són notablement superiors als de les plantes per a combustibles fòssils (la baixa densitat energètica requereix un major volum de la instal·lació) i, a més a més, els costos d'exploració poden suposar una càrrega inviable en funció del cost real de la biomassa residual.

Adicionalment, cal dir que les tecnologies de conversió disponibles actualment presenten certs problemes d'operativitat. El més evident és el de l'emissió de quitrans en el corrent de gas combustible, fet que obliga a adoptar mesures correctores (amb el cost corresponent) per complir els límits d'emissions que fixa la legislació vigent (Härdtlein i Kaltschmitt, 1996).

1.3. Tecnologies disponibles per a la conversió de la biomassa

Tal com hem vist en el punt anterior, és obvi que l'aprofitament energètic de la biomassa presenta una sèrie de pros i contres. I resulta evident que el major cost de l'ús de la biomassa respecte a l'ús dels combustibles fòssils és el principal obstacle.

Tanmateix, la societat demana un impuls de l'aprofitament energètic de la biomassa i, per tant, s'han de fer els esforços necessaris per superar el nivell de confiança actual. La clau s'ha de buscar en el valor econòmic dels combustibles (gasos i líquids) obtinguts mitjançant processos alternatius a la combustió: cal millorar-lo i fer competitius els diferents processos disponibles. El fet de potenciar el mercat de biocombustibles comporta una sèrie d'avantatges i d'inconvenients:

Avantatges

- Introducció d'aquests combustibles en el sistema energètic actual.
- Millora de la taxa de substitució de combustibles fòssils.

Desavantatges

- Augment de la complexitat tecnològica.
- Augment dels costos d'inversió respecte a la combustió convencional.

A continuació es presenten les tecnologies de conversió per obtenir biocombustibles més significatives.

1.3.1. Conversió termoquímica

La conversió termoquímica es basa en la descomposició de la biomassa mitjançant l'aportació de calor.

- **Producció de carbó vegetal**

Aquesta tecnologia s'utilitza a gran escala en diferents països. Tanmateix, la seva contribució a la demanda energètica és modesta. La major part del carbó vegetal (*charcoal*) es produeix per a ús domèstic (com a combustible per a barbacoes), per obtenir carbó activat i altres materials carbonosos i per al seu ús com a agent reductor per obtenir silici en forns d'arc elèctric. Aquesta darrera aplicació ha experimentat un gran impuls a Noruega, on l'any 1998 es van consumir gairebé 100.000 tones de *charcoal* (Antal *et al.*, 2000).

- **Gasificació**

El principal atractiu d'aquesta tecnologia, a més de permetre obtenir un combustible emmagatzemable, es basa en que permet produir electricitat o una combinació de calor i potència amb una elevada eficiència elèctrica si s'utilitzen motors o turbines de gas. Per aquest motiu, el seu potencial energètic és elevat.

A més a més, cal considerar els beneficis ambientals associats a aquesta tecnologia (reducció de les emissions de diòxid de carboni). Malgrat tot, en l'actualitat hi ha un nombre molt reduït de gasificadors comercials que operin a Europa. Això es deu, bàsicament, a diferents problemes tècnics no resolts i als elevats costos relatius d'aquesta tecnologia (Kaltschmitt i Dinkelbach, 1997).

La taula 1.3 mostra un resum (Beenackers i Maniatis, 1997) de l'estat de diferents projectes d'implementació en l'àmbit, principalment, de la gasificació integrada en cicle combinat (IGCC).

Taula 1.3. Projectes de demostració de la gasificació de biomassa

	BIOFLOW	BGF	BIG-GT	BIOCYCLE	ENERGY FARM	ARBRE	VERMONT	BINAGAS	TINA
Lloc	Suècia	EUA	Brasil	Dinamarca	Itàlia	Regne Unit	EUA	Bèlgica	Austria
Estat	En fase de proves	Reactor operatiu	Disseny acabat	En fase de disseny	En fase de disseny	En fase de disseny	En construcció	En construcció	Construït
Procés	IGCC	IGCC	IGCC	IGCC	IGCC	IGCC	Turbina de gas	Cicle Indirecte d'aire	Cicle indirecte d'aire
Reactor	Llit circulant a pressió	Llit fluiditzat a pressió	Llit circulant atm.	Llit circulant a pressió	Llit circulant atm.	Llit circulant atm.	Indirectament escalfat	Llit fluiditzat atmosfèric	Llit mòbil de flux d'ascens
Proveïdor	AHLSTROM	RENU-GAS	TPS	ENVIRO-POWER	LURGI	TPS	Battelle Columbus	DINAMEC	VOLUND
Potència elèctrica (MWe)	6	5	31,9	7,2	11,9	8	n.d.	0,2-0,7	2
Biomassa	Fusta residual	Bagàs	Euca-liptus	Residus forestals	Residus forestals	Fusta residual	Fusta	Fusta residual	Residus forestals
Flux d'aliment (Tm/h)	4,1	4,2	16,1	3,5	6,2	5,7	8,3	0,4	1,8

- **Piròlisi**

Aquesta tecnologia està en estat de desenvolupament i els seus costos elevats estan frenant l'expansió d'un mercat de combustibles líquids o *bio-oils* alternatius al petroli.

L'avantatge principal dels *bio-oils* és que són combustibles emmagatzemables, a més del seu potencial com a primera matèria per a processos de síntesi. El màxim rendiment de la generació de la fracció líquida s'aconsegueix a pressió atmosfèrica, temperatura moderada (450°C–500°C) i alta velocitat d'escalfament en reactors de llit fluiditzat. Aquesta variant tecnològica es coneix amb el nom de piròlisi ràpida (*fast pyrolysis*) i en els darrers anys el seu desenvolupament ha rebut un impuls molt important (Bridgwater, 1997; Morris, 1999).

1.3.2. Conversió fisicoquímica

Aquesta variant de conversió es basa en la producció d'un biocombustible líquid a partir d'una biomassa que contingui un oli vegetal. Aquesta tecnologia és similar a la de les vies de conversió per a la producció d'olis vegetals en la indústria alimentària.

L'oli vegetal s'obté per mitjà de la pressurització i/o l'extracció. Malgrat que és una tecnologia avançada, la seva aplicació energètica no presenta gaire interès perquè el balanç resulta desfavorable i perquè no té un potencial de reducció d'emissions important.

1.3.3. Conversió bioquímica

Aquesta variant de conversió es basa en la descomposició de la matèria orgànica per mitjà de microorganismes (aerobis o anaerobis) i presenta dues alternatives de procés:

- **Fermentació alcohòlica**

Aplicable únicament a biomasses que continguin sucres. Es tracta d'una tecnologia molt estudiada en el sector alimentari. L'alcohol pot ser fàcilment utilitzat com a combustible per a automòbils. Malgrat tot, sembla que dedicar plantacions energètiques a aquest propòsit no és gaire rendible a causa dels seus elevats costos productius i de la poca demanda energètica que cobriria (Kaltschmitt i Dinkelbach, 1997).

- **Digestió anaeròbica**

En aquest procés només poden ser emprats com a primera matèria les biomasses residuals o els residus orgànics amb un alt contingut d'humitat. El biogàs que s'obté (format bàsicament per metà i diòxid de carboni) s'ha de depurar bé per tal que es pugui utilitzar en motors de combustió. Encara que els beneficis ambientals que s'aconsegueixen amb aquest procés són considerables, el seu potencial energètic és reduït.

1.3.4. Comparació de les diferents alternatives

La taula 1.4 mostra, a tall de resum, una comparació de les diferents tecnologies utilitzades per al desenvolupament energètic de la biomassa (Kaltschmitt i Dinkelbach, 1997).

Si analitzem el contingut de la taula, ens adonarem que la gasificació i la piròlisi són les dues tecnologies més avantatjoses per a la revalorització de la biomassa. La possibilitat de tractar qualsevol tipus de biomassa, la facilitat per integrar-se en el sistema energètic, els beneficis ambientals associats i les possibilitats de desenvolupament (a curt i a mitjà termini per a la gasificació i a mitjà i a llarg termini per a la piròlisi), fan decantar la balança a favor d'aquestes dues alternatives tecnològiques.

Taula 1.4. Comparació de diverses tecnologies de generació de biocombustibles

	<i>Charcoal</i>	Gasificació	Piròlisi	Olis vegetals	Fermentació	Biogàs
Biomassa (aplicació)						
Residual	++	+++	+++			++
Conreus	+++	+++	+++	+++	+++	+
Tecnologia (estat)	+++	++	+	+++	+++	++
Criteris d'energia						
Integració energètica	+	+++	+++	+	+++	++
Beneficis ambientals	++	+++	+++	+++	+++	++
Costos	++	+	+	+	+	+
Potencial de reducció de costos	+	+++	+++	+	+	++
Desenvolupament						
A curt termini	+	++	+	+	+	+
A mitjà termini	+	+++	++	+	+	+
A llarg termini	+	+++	+++	+	++	+