

UTILITZACIÓ DE LA BIOMASSA COM A FONT DE MATÈRIES PRIMERES I D'ENERGIA

Neus Puy¹, Jordi Bartrolí Molins², Jordi Bartrolí Almera¹, Joan Rieradevall³, David Tàbara¹, Sergio Martínez⁴, Miquel Rigola⁵

¹**Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA).** Universitat Autònoma de Barcelona. Edifici Cn – Campus de la UAB. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). Barcelona. Tel: +34 93 581 29 74. Fax: +34 93 581 33 31.

²**Departament de Química.** Universitat Autònoma de Barcelona. Edifici Cn – Campus de la UAB. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). Barcelona. Tel: +34 93 581 29 18. Fax: +34 93 581 24 77.

³**Departament d'Enginyeria Química.** Universitat Autònoma de Barcelona. Edifici. C - – Campus de la UAB. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). Barcelona. Tel: +34 93 581 10 18. Fax: +34 93 581 20 13.

⁴**Laboratori de Química i Enginyeria Ambiental (LEQUIA).** Universitat de Girona. Campus Montilivi. 17071 Girona. Tel.: +34 972 41 83 55. Fax: + 34 972 81 50.

⁵**Institut de Medi Ambient (IMA).** Universitat de Girona. Campus Montilivi. 17071 Girona. Tel.: +34 972 41 98 48. Fax: +34 972 41 98 49.

Resum

Sostenibilitat, ecologia industrial, ecoeficiència i química verda estan guiant el desenvolupament de la nova generació de materials, productes i processos. Productes químics i materials sostenibles poden ser produïts aplicant tecnologies de química verda per tal de transformar recursos de biomassa. Aquest article presenta una revisió de l'estat de l'art de les opcions de l'aprofitament de la biomassa forestal, emfatitzant especialment en la química verda, la qual engloba processos per a obtenir productes de valor afegit, inclosos en el concepte de biorefineria. En general, es conclou que és necessari desenvolupar fonts de matèries primeres sostenibles per a compensar el futur dèficit i l'increment dels preus dels materials derivats del petroli. Les biorefineries presenten un gran avantatge en comparació amb les plantes de valorització energètica de la biomassa, ja que se n'obté paral·lelament biocombustibles, productes químics i energia. Una manera de trobar sortida als productes forestals, estimular les empreses rurals i mantenir l'economia rural és desenvolupar processos per a obtenir productes de gran valor afegit a partir de biomassa forestal.

Paraules clau: biomassa lignocel·lulòsica; biorefineria; química verda; sostenibilitat.

1. Introducció

La importància dels boscos a Catalunya ve lligada, majoritàriament, al seu aprofitament com a font natural de recursos i a la seva funció com a sistema ecològic i paisatgístic. Actualment la superfície arbrada forestal existent a Catalunya representa aproximadament un 60% de la

superfície de Catalunya (Joanati, Rodríguez et al. 2001; (Idescat) 2006; Domenjó and Llongarri 2007) i un 10% de la superfície forestal d'Espanya (Ambiente 1997-2007). Si s'apliquen criteris de gestió silvícola, un 35% de la superfície forestal pot ser aprofitada per aprofitaments fusters rendibles (Terradas, Ibàñez et al. 2004). Tanmateix, els últims anys s'han incrementat les càrregues de combustible d'aquests boscos a causa de la seva subexplotació, per la qual cosa el foc esdevé un dels riscos més crítics i importants en zones rurals de l'àrea mediterrània (Tabara, Sauri et al. 2003). Els incendis forestals afecten de forma més o menys periòdica els boscos de Catalunya i es caracteritzen per tenir una irregularitat temporal i espacial molt elevada (Joanati, Rodríguez et al. 2001).

La manca d'un mercat forestal ben establert, la subexplotació dels boscos i el risc d'incendi són alguns dels factors que convergeixen en la necessitat d'una gestió sostenible de les masses forestals, encaminada a reduir la càrrega de combustible i alhora a aprofitar els productes i subproductes del bosc (Puy, Tabara et al.).

Actualment, aprofitar la biomassa forestal com a font d'energia s'albira com una de les opcions més factibles per una gestió forestal sostenible, no només per l'impuls que representaria pel sector forestal sinó també pel paper que juguen els boscos en la implementació del Protocol de Kyoto, associat a la Convenció Marc del Canvi Climàtic de les Nacions Unides. Es considera que la biomassa no només té el potencial per esdevenir una de les principals fonts d'energia primària durant el proper segle, sinó que els sistemes energètics moderns a partir de biomassa contribuiran de forma important als sistemes energètics sostenibles futurs i al desenvolupament sostenible de tots els països. Així doncs, els sistemes integrats de biomassa es veuen com uns dels importants contribuents per a assegurar el futur subministrament d'energia i per a proveir una gran varietat de serveis sostenibles tant en països industrialitzats com en països en vies de desenvolupament (Sims 2002; Berndes, Hoogwijk et al. 2003).

D'altra banda, la indústria química actual està basada principalment en el petroli i el gas natural com a matèria primera, resultat pel qual actualment existeixen en el mercat més de 2500 diferents productes basats en aquest recurs fòssil no renovable. Aquest fet representa que en la fabricació de productes químics es consumeix el 10% del consum mundial de gas natural, el 21% de gas natural líquid i el 4% del petroli. En una base global, la indústria química requereix aproximadament el 7-8% del consum mundial d'hidrocarburs líquids i gasosos (Danner and Braun 1999).

En aquest context, utilitzar la biomassa, primera matèria que es renova indefinidament mitjançant processos naturals, per a l'obtenció a gran escala de productes químics i energia es

percep una de les opcions més factibles a implantar en aquest moment. Solament quan s'aconsegueixi que la biomassa substitueixi de manera significativa als recursos fòssils (petroli, carbó i gas natural) podrem considerar que la Indústria Química pot arribar a ser realment sostenible (Jenk, Agterberg et al. 2004).

El terme biomassa es refereix al conjunt de tota la matèria orgànica d'origen vegetal o animal, que inclou els materials que procedeixen de la transformació natural o artificial. L'energia que es pot obtenir de la biomassa 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. Per aquest motiu, es considera que les emissions de diòxid de carboni resultants de l'aprofitament energètic de la biomassa es neutralitzen per la capacitat de fixació de les masses vegetals (Marland and Schlamadinger 1997; Hamelinck, Suurs et al. 2005; (ICAEN) 2006).

Per tant, aquesta biomassa pot ser transformada en una àmplia varietat de productes líquids, sòlids i gasosos, els quals són interessants des del punt de vista energètic, industrial i agrícola (Figura 1). La transformació d'aquesta biomassa té dues aplicacions principals: (i) combustible per a generar electricitat i/o calor, i (ii) com a matèria primera per a obtenir altres matèries químicament més simples.

Així, els arbres com a “fàbriques” químiques representen un recurs enorme de productes de carboni en molts països arreu del món. Moltes explotacions forestals tenen poques possibilitats d'extreure la fusta a causa dels preus baixos de la fusta. Aquest fet unit a la falta d'un mercat transparent i al fet que a Catalunya s'importen dues terceres parts del consum de fusta, trobar maneres d'afegir valors addicionals a tals recursos de fusta ajudarà a estimular empreses rurals i a mantenir l'economia rural. Això podria incloure la utilització de residus de la indústria paperera i de taulers tals com l'escorça. Unes altres fonts de fusta no utilitzades actualment inclouen rames, tot i que s'acumulen dispersament i la seva recol·lecció i transport consumirà recursos. Alguns exemples de nous usos inclouen les fibres de cel·lulosa per a tèxtils i les resines de serradures com a adhesiu.

Un dels papers claus d'aprofitar la biomassa per a l'obtenció de compostos químics el juga la nova legislació europea sobre substàncies químiques REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals), la qual probablement arribarà a ser una de les legislacions químiques més importants mai vistes (Clark 2006).

Així, una manera de rendibilitzar l'extracció i el transport d'aquesta biomassa és trobar-hi altres usos, com per exemple per a l'obtenció de matèries primeres, processos que donen un valor afegit a la biomassa forestal, ja que la biomassa generada espontàniament es troba molt

dispersa, poc concentrada, per la qual cosa els costos de recol·lecció i transport resulten molt elevats, fet que en l'actualitat limita substancialment el seu aprofitament.

Els nous avenços tecnològics poden contribuir també, mitjançant el desenvolupament de varietats d'espècies vegetals de creixement ràpid i que siguin cultivables en terrenys actualment improductius, a la concentració de la producció de biomassa vegetal facilitant la seva aplicació per a l'obtenció d'energia, de productes químics de base i d'especialitat (OECD 1998).

Així doncs, existeix el repte de desenvolupar noves tecnologies per a la conversió de la biomassa en productes químics i combustibles, com ja es va haver de fer a principis del segle passat, quan es va passar de l'era del carbó a l'era del petroli.

D'aquesta manera, existeix la necessitat d'investigar l'aplicació de tecnologies de química verda amb l'objectiu de desenvolupar noves, genuïnament sostenibles, rutes de baix impacte ambiental per a l'obtenció de productes químics, materials i bioenergia. Desenvolupar una economia sostenible que utilitzi bioprocessos i biorecursos renovables ecoeficients és una de les estratègies clau per al segle XXI (veure Figura 2). Una millor comprensió sobre la biodiversitat, l'ecologia, la biologia i la biotecnologia està fent possible augmentar la producció de biomassa als boscos i a l'agricultura, així com utilitzar la biomassa i els residus orgànics d'una manera sostenible i eficient (OECD 2005). Tan sols quan es puguin apartar les pressions socials que la societat té sobre la indústria química, es poden desenvolupar estratègies a favor de la química verda i establir els fonaments del desenvolupament sostenible que impliqui un benefici econòmic, ambiental i social i que pugui impulsar les línies guies que han d'ajudar a empènyer l'aplicació de la química verda (veure Figura 3) (Clark 2006).

Per tant, la química verda encarada a obtenir productes a partir de la biomassa és un punt clau que està marcant tendències i que ha de ser estudiada i desenvolupada en profunditat.

2. Concepte de biorefineria

S'entén com a biorefineria una unitat integral de diferents indústries que converteix la biomassa en una àmplia varietat de productes químics, energètics i materials, mitjançant diverses tecnologies (Figura 4) (Clark, Budarin et al. 2006). Un exemple de biorefineria seria la d'una indústria paperera que produeix no només per al mercat del paper sinó que també produeix bioetanol, productes químics tals com aldehids i, a més, genera energia elèctrica aprofitant el calor derivat dels seus propis processos (Figura 5).

Es contempen dues alternatives per al funcionament de les biorefineries:

- La primera d'aquestes es basaria en la separació dels diferents components de les plantes (olis, extractes, cel·lulosa, lignina, etc.) per al seu posterior aprofitament per separat.
- En el cas de la segona, el conjunt de la biomassa, sense separar prèviament, es transformaria, mitjançant procediments tèrmics, com la piròlisi o la gasificació, en hidrocarburs, que adequadament separats en fraccions adequades s'utilitzarien com combustibles i com matèries primeres per a la indústria química.

A continuació s'expliquen aquestes opcions de funcionament de les refineries.

2.1. Biorefineria basada en la separació prèvia dels components de la biomassa

Per a la implantació a gran escala d'aquest tipus de refineries, basades fonamentalment en la utilització d'olis i sucres com materials intermedis, s'hauran de desenvolupar, entre d'altres, noves tecnologies per a:

- Separar cel·lulosa i lignina, els dos components fonamentals de les fibres vegetals, de manera eficient i poc agressiva per al medi ambient (Zhu, Wu et al. 2006).
- Aprofitar la fracció de lignina per a l'obtenció de productes químics de gran valor afegit, com per exemple la vanil·lina (Clark, Budarin et al. 2006).
- Hidrolitzar la cel·lulosa, per a l'obtenció de glucosa i altres sucres, mitjançant processos enzimàtics menys contaminants que els processos químics de naturalesa àcida o alcalina.
- Sintetitzar de nous plàstics i fibres sintètiques a partir dels sucres continguts a les plantes, com és el cas del polièster Sorona (polimetilentereftalat) recentment desenvolupat per Dupont (Dupont; Stevens 2002) o de l'àcid polilàctic i els seus derivats, que es poden obtenir per polimerització de l'àcid làctic, resultant de la fermentació de la dextrosa continguda en el blat de moro utilitzant microorganismes del gènere *Lactobacillus*. Les propietats dels plàstics derivats de l'àcid polilàctic, que poden variar mitjançant la incorporació d'altres monòmers, permetran la seva utilització en substitució de plàstics convencionals obtinguts del petroli com el poliestirè i el polietilentereftalat (Lundt 1998).
- Desenvolupar de nous processos de fermentació de la glucosa per a l'obtenció de majors concentracions d'etanol que les que actualment s'obtenen, que no solen superar els 15 g/l, i per a l'obtenció d'altres alcohols d'elevat valor afegit (World 2003).
- Incrementar la utilització dels olis vegetals com matèries primeres per a la fabricació de productes d'elevat consum: detergents, additius de plàstics, pintures, etc., canvi que

actualment s'està duent a terme i que es mostra a la Figura 6 (Höfer and Bigorra 2006).

2.2. Biorefineria basada en el tractament conjunt de la biomassa

El seu funcionament es basa en la transformació del conjunt de la biomassa vegetal en una barreja de compostos de tipus hidrocarbonat implicant tecnologies de conversió tèrmica, com són la piròlisi i la gasificació.

La piròlisi, consisteix al escalfament de la biomassa, en absència d'oxigen, a temperatures elevades (entre 500°C i 800°C), de la qual s'obté una fracció d'hidrocarburs gasosos, una fracció d'hidrocarburs líquids i un residu sòlid. El tractament d'aquestes fraccions mitjançant els procediments típics de les refineries de petroli permet la seva conversió en: combustibles gasosos i líquids, olis lubricants, ceres, etc., així com en gasos olefínics, que constitueixen avui dia la base d'indústria química. Per tant, els productes de la piròlisi es poden considerar com un petroli sintètic renovable.

La gasificació implica el tractament tèrmic en presència de vapor d'aigua, a temperatures encara més elevades que les de piròlisi, per obtenir gas de síntesi, barreja de monòxid de carboni i hidrogen. El gas de síntesi es pot transformar mitjançant un procés catalític en metanol, i a partir d'aquest es poden obtenir tots els productes típics de les refineries i de la indústria petroquímica com actualment s'està fent en la República Sud-africana, on l'empresa SASOL utilitza el gas de síntesi procedent de la gasificació del carbó. Encara que els dos tipus de tecnologies es poden considerar clàssiques, la seva adaptació per a l'obtenció de combustibles i matèries primeres per a la indústria química a partir de la biomassa, especialment en el cas de la piròlisi, constitueix un dels reptes que s'estan investigant actualment.

3. Productes obtinguts de les biorefineries

L'objectiu de les biorefineries és maximitzar el valor de la biomassa com a matèria primera, pel que es produeixen biocombustibles líquids, productes químics i energia al mateix temps, aconseguint tancar al màxim el cicle d'aprofitament de la biomassa.

3.1. Energia i fuels

L'obtenció de biocarburants, com el biodièsel i el bioetanol, són iniciatives per a l'aprofitament energètic de la biomassa vegetal que actualment es troben en un estat de desenvolupament bastant avançat.

El biodièsel, substitutiu del gasoil, s'obté per transesterificació amb metanol d'olis vegetals obtenint-se com subproducte glicerina, producte de base per a la fabricació de sabons i cosmètics (Knothe 2002). Com matèries primeres per a l'obtenció de biodièsel s'utilitzen olis de soja, colza, palma i coco. El major inconvenient per a la implantació del biodièsel radica en el cost dels olis, per la qual cosa aconseguir espècies amb major productivitat d'olis i la millora en els processos d'extracció a partir de les llavors són etapes crítiques per a l'economia del biodièsel. En l'actualitat, per a vèncer aquest inconvenient econòmic, s'estan desenvolupant processos per a l'obtenció de biodièsel a partir d'olis vegetals residuals fregits (Supple, Howard-Hildige et al. 2002).

El bioetanol s'obté en l'actualitat per fermentació dels sucres obtinguts a partir de midó de patata, melca, blat de moro, blat i fins i tot de residus cel·lulòsics dels sectors agrícola i forestal com palla de blat, residus de poda, bagassa de canya de sucre i tiges de blat de moro (Schell and al. 2004). El bioetanol és un excel·lent substitut de la gasolina com carburant d'automoció, encara que la seva utilització directa com carburant d'automoció requereix modificacions en els motors dels automòbils. En l'actualitat s'utilitza la seva barreja amb gasolina, el que es denomina Gasohol, el consum del qual representa el 12% del total de carburants d'automoció a Estats Units.

També en aquest camp, la introducció de líquids iònics pot millorar molt el rendiment dels processos, ja que tenen gran importància a l'hora de separar els diferents components de la biomassa (Abbott, Cullis et al. 2007).

D'altra banda, en el concepte de biorefineria s'inclou el tancament del cicle energètic, pel que s'aprofiten totes les corrents de vapors per tal de produir electricitat o energia tèrmica que, o bé s'utilitzarà en el propi procés o bé servirà per moure una turbina o un motor per a generar energia elèctrica que es vendrà posteriorment a la xarxa.

3.2. Compostos químics

En l'actualitat s'utilitzen matèries primeres derivades de la biomassa per a l'obtenció de productes, principalment en les indústries farmacèutica, cosmètica i alimentària. No obstant això, aquestes aplicacions sol representen l'aprofitament del voltant del 4% de la biomassa natural produïda anualment.

Actualment s'estan investigant compostos ambientalment sostenibles a partir de fibres naturals (biofibres) i plàstics derivats de cultius (bioplàstics). Són nous materials del segle XXI que són de gran importància per al món dels materials (veure Figura 3), no només perquè

són una solució a la creixent amenaça ambiental, sinó com a solució a la incertesa del subministrament de petroli (Mohanty, Misra et al. 2002; Zhu, Wu et al. 2006).

4. El futur: la química sostenible

Actualment la indústria química europea ha pogut incrementar la seva producció un 35% respecte a l'any 1990 mantenint el seu consum d'energia en els mateixos nivells i reduint les seves emissions de gasos d'efecte hivernacle, com el CO₂. A més, s'ha incrementat substancialment la competitivitat del sector, la productivitat del qual ha augmentat un 59% en el període 1992-2002 (Jenk, Agterberg et al. 2004).

No obstant això, la major part de les iniciatives que s'han pres, per descomptat amb excepcions, s'han dirigit cap a la millora de les tecnologies, processos i productes actualment existents. Aquest fer resulta clarament insuficient per a assolir una sostenibilitat estable a llarg termini, ja que no n'hi ha prou a limitar-se a les millores dels actuals processos i productes. Si no es prenen un altre tipus de mesures més ambicioses, els beneficis aconseguits seran contrarestats pel propi creixement en molt curt termini (Venselaar 2003).

En aquest punt la legislació europea REACH, com ja s'ha comentat anteriorment, jugarà un rol molt important que s'ha de veure com una oportunitat, ja que no només forçarà avaluar un gran nombre de productes químics, sinó que permetrà establir les bases per a buscar-ne substituïts ambientalment més sostenibles (Clark 2006).

Per tant, el nou repte de la química és avançar, des de la situació actual, majoritàriament orientada a la millora dels processos i productes actuals, cap a una filosofia de disseny basada en nous tipus de processos i productes que possibilitin aconseguir majors increments en la seva ecoeficiència, contribuint en major mesura a desfer el binomi creixement econòmic – impacte ambiental i a assolir un creixement econòmic estable i més just, mitjançant:

- El desenvolupament de nous compostos químics i materials per a nous productes, amb propietats molt superiors a les dels actualment coneguts, que siguin capaços de cobrir tant les necessitats actuals com les del futur utilitzant quantitats de matèries significativament menors.
- El desenvolupament de noves formes de concebre els processos de fabricació dels productes químics, incloent nous tipus d'equipament, de manera que siguin molt més eficients, nets i assegurances.
- El desenvolupament de tecnologies que permetin la utilització de la biomassa com primera matèria fonamental per a la producció de compostos químics i de combustibles.

- La consecució de cicles tancats d'utilització dels recursos no renovables mitjançant el desenvolupament de vies de reciclat d'extremada eficàcia així com de nous processos de producció que puguin utilitzar aquests productes reciclats com matèries primeres.
- La consideració en els punts anteriors de les necessitats i situació dels països en desenvolupament per estimular el seu creixement.

Així doncs, és necessari desenvolupar fonts de matèries primeres sostenibles per a compensar el futur dèficit i l'increment dels preus dels materials derivats del petroli. Les biorefineries presenten un gran avantatge en comparació amb les plantes de valorització energètica de la biomassa, ja que se n'obté paral·lelament biocombustibles, productes químics i energia. D'aquesta manera, el concepte de biorefineria hauria d'estar expressat com un principi de sostenibilitat, el qual utilitza recursos renovables que poden provenir d'una gran diversitat de matèries primeres enlloc de fòssils i que produeix una gran varietat de productes, conjuntament amb un cicle tancat d'economia de materials i energia. I aquesta sostenibilitat ha d'anar lligada i aplicada a les explotacions forestals, ja que tan sols implementant una gestió sostenible dels boscos, conjuntament amb el concepte de tancar el cicle d'aprofitament dels productes de la biomassa, en pot sorgir un mercat i un desenvolupament eficaç dels productes forestals.

Referències

- (ICAEN), I. C. d. I. E. (2006). "Institut Català de l'Energia (ICAEN)." Retrieved 2006/11/19, 2006, from <http://www.icaen.net>.
- (Idescat), S. I. o. C. (2006). "Anuari estadístic de Catalunya 2005." Territory and environment, from <http://www.idescat.net/cat/idescat/publicacions/anuari/aec.html> (Accessed 09/24/06).
- Abbott, A. P., P. M. Cullis, et al. (2007). "Extraction of glycerol from biodiesel into a eutectic based ionic liquid." Green Chemistry **In press**.
- Ambiente, M. M. (1997-2007). Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3). M. d. M. Ambiente.
- Berndes, G., M. Hoogwijk, et al. (2003). "The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies." Biomass & Bioenergy **25**(1): 1-28.
- Clark, J. H. (2006). "Green chemistry: today (and tomorrow)." Green Chemistry **8**: 17-21.
- Clark, J. H., V. Budarin, et al. (2006). "Green chemistry and the biorefinery: a partnership for a sustainable future." Green Chemistry **8**: 853-860.
- Danner, H. and R. Braun (1999). "Biotechnology for the production of commodity chemicals from biomass." Chemical Society Reviews **28**: 395-405.
- Domenjó, I. and A. Llongarriu (2007). Ponència marc del bloc d'Indústria i Productes forestals. Beneficis i oportunitats. 2n Congrés Forestal Català.
- Dupont. from <http://www.dupont.com>.
- Hamelinck, C. N., R. A. A. Suurs, et al. (2005). "International bioenergy transport costs and energy balance." Biomass & Bioenergy **29**(2): 114-134.
- Höfer, R. and J. Bigorra (2006). "Green chemistry—a sustainable solution for industrial specialties applications." Green Chemistry **9**(3): 203-212.
- Jenk, J. F., F. Agterberg, et al. (2004). "Products and Processes for a Sustainable Chemical Industry." Green Chemistry **6**: 544-556.

Joanati, C., J. Rodríguez, et al. (2001). Pla de Biomassa, Àmbit Forestal. Barcelona, Conveni de col·laboració entre el Centre de Recerca Ecològica i Recursos Forestals (CREAF), el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC) i l'Institut Català de l'Energia. Generalitat de Catalunya, Departament d'Indústria, Comerç i Turisme.

Knothe, G. (2002). "Current Perspectives on Biodiesel." *Inform* **13**: 900-903.

Lundt, J. (1998). "Large-Scale Production, Properties and Commercial Applications of Polylactic Acid Polymers." *Polymer degradation and stability* **59**: 145-152.

Marland, G. and B. Schlamadinger (1997). "Forests for carbon sequestration or fossil fuel substitution? A sensitivity analysis." *Biomass & Bioenergy* **13**(6): 389-397.

Mohanty, A. K., M. Misra, et al. (2002). "Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World." *Journal of Polymers and the Environment* **10**(1/2): 19-26.

OECD. (1998). "Biotechnology for Clean Industrial Products and Processes: Towards Industrial Sustainability." from <http://www.oecd.org>.

OECD (2005). The application of biotechnology to industrial sustainability - A primer, ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT: 19.

Puy, N., D. Tabara, et al. "Integrated Assessment of forest bioenergy systems in Mediterranean basin areas: The case of Catalonia and the use of participatory IA-focus groups." *Renewable and Sustainable Energy Reviews In Press, Corrected Proof*.

Schell, D. J. and e. al. (2004). "A Bioethanol Process Development Unit." *Bioresource Tecnology* **91**: 179-188.

Sims, R. E. H. (2002). "Biomass, bioenergy and barriers." *Renewable Energy World*: 118-131.

Stevens, E. S. (2002). "Green Plastics-An Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics." *Princeton University Press. New Jersey*.

Supple, B., R. Howard-Hildige, et al. (2002). "The Effect of Steam Treating Waste Cooking Oil on the Yield of Methyl Ester." *J. Am. Oil Chem. Soc.* **79**: 175-178.

Tabara, D., D. Sauri, et al. (2003). "Forest fire risk management and public participation in changing socioenvironmental conditions: A case study in a Mediterranean region." *Risk Analysis* **23**(2): 249-260.

Terradas, J., J. J. Ibàñez, et al. (2004). *Els boscos de Catalunya: estructura, dinàmica i funcionament*.

Venselaar, J. (2003). "Sustainable Growth and Chemical Engineering." *Chem. Eng. Technol.* **26**: 868-874.

World, C. (2003). Retrieved 05/20/07, from <http://www.chem-world.com/>.

Zhu, S., Y. Wu, et al. (2006). "Dissolution of cellulose with ionic liquids and its application: a mini-review." *Green Chemistry* **8**: 325-327.

Figures i taules

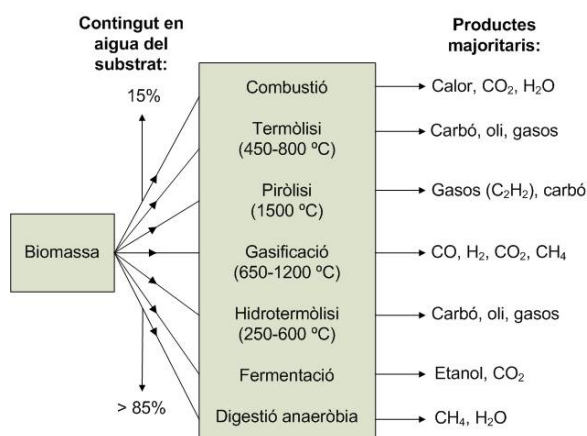


Figura 1. Processos de transformació de la biomassa i productes que se'n poden obtenir.

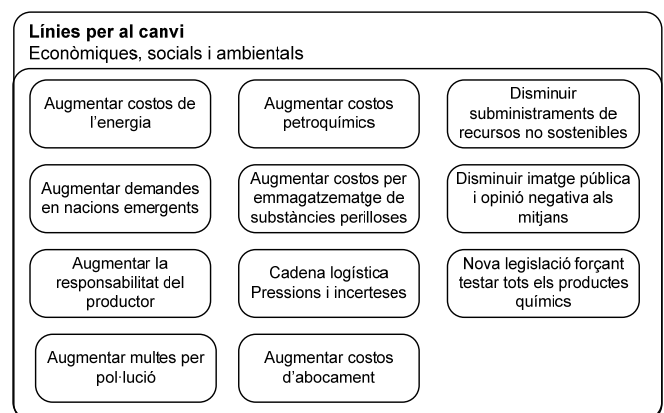


Figura 2. Línies guies per al canvi a l'impuls de la química verda.

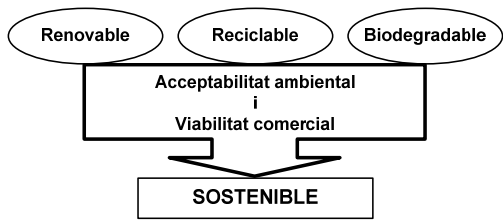


Figura 3. Concepte de bioproducte sostenible.

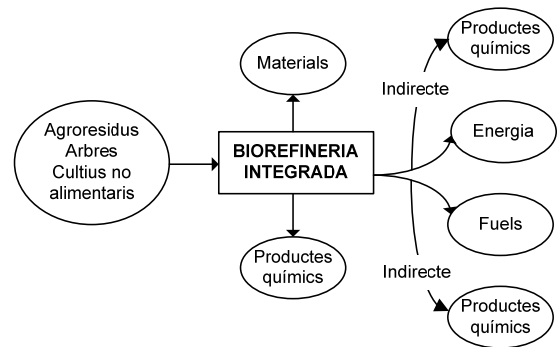


Figura 4. Biorefineria Integrada, des d'una varietat de primeres matèries produeix productes químics, energia i biocombustibles.

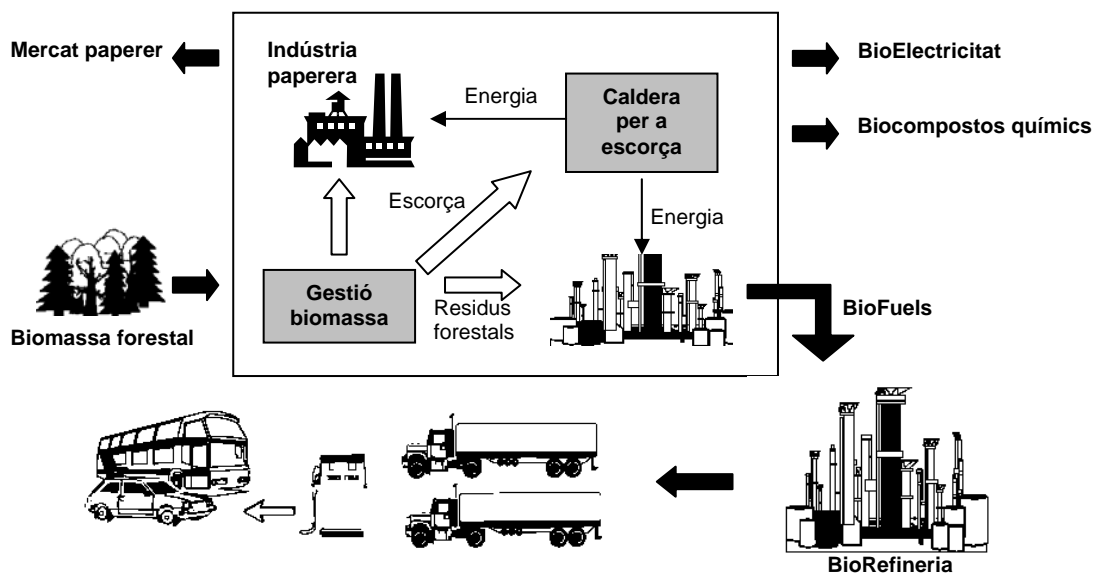


Figura 5. Exemple de biorefineria conjuntament amb la indústria paperera.

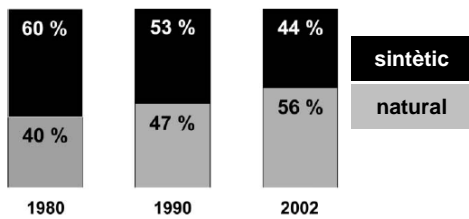


Figura 6. Canvi del mercat d'àcids grassos: de sintètic a natural.