

Resum

Els plàstics són un dels materials més utilitzats en tots els sectors de la indústria, tanmateix tenen dos problemes importants. Per una banda el seu origen fòssil i per altra la disposició final d'aquests materials. Aquestes problemàtiques afecten directa i indirectament al medi ambient. Per tal de minimitzar aquests problemes s'ha començat a produir de manera industrial plàstics de base biològica (bio-plàstics) intentant solucionar la qüestió del origen.

Tot i així, no existeix cap eina per tal de mesurar la sostenibilitat dels bio-plàstics així com també el seu impacte ambiental. En conseqüència no es pot saber el veritable efecte d'aquests materials sobre el medi i si realment són superiors als plàstics convencionals.

En aquest projecte s'intenta donar una solució quantitativa a la problemàtica dels bio-plàstics vers el medi ambient a la vegada que es posa en comparativa els diferents plàstics d'origen biològic i el seu impacte ambiental i sostenibilitat. Per tal d'arribar al acompliment d'aquest objectiu s'ha utilitzat la següent metodologia per donar una solució: la recerca i classificació de diferents tipus d'indicadors de manera bibliogràfica per diferents tipus de bio-plàstics: PLA, PA, PHA, polímers derivats del midó i Bio-PE.

Una vegada feta aquesta cerca i catalogació dels diferents indicadors ambientals en indicadors d'impacte, de sostenibilitat i d'impacte i sostenibilitat s'ha donant finalment una base de dades amb la qual es poden veure els diferents comportaments dels plàstics vers el medi ambient. I també s'ha fet un anàlisi estadístic de les diferents fonts emprades per la confecció de la base de dades.

Per últim, s'ha fet un exercici comparatiu entre plàstics, exemplificant el comportament dels plàstics d'origen biològic enfrontant un d'ells amb un plàstic convencional. Aquests dos plàstics són el PLA i PET.



1. Índex

RESUM	1
1. ÍNDEX	3
2. GLOSSARI	7
3. PREFACI	9
3.1. Origen del projecte	9
3.2. Motivació del projecte.....	9
3.3. Abast	9
4. OBJECTIUS	11
4.1. Objectius generals.....	11
4.2. Objectius específics.....	11
5. ELS PLÀSTICS I EL MEDI AMBIENT	13
6. INDICADORS	20
6.1. Indicadors ambientals de sostenibilitat.....	20
6.1.1. Petjada ecològica	21
6.1.2. Escalfament global	22
6.1.3. Esgotament de recursos abiòtics.....	23
6.1.4. Material requerit.....	23
6.1.5. Material subjecte a reciclatge.....	23
6.2. Indicadors ambientals d'impacte	23
6.2.1. Eco-indicador'99.....	24
6.2.2. Gasos d'efecte hivernacle	25
6.2.3. Potencial d'esgotament d'ozó	26
6.2.4. Potencial d'acidificació	26
6.2.5. Potencial d'eutrofització	26
6.2.6. Eco-toxicitat	27
6.2.7. Toxicitat humana	27
6.2.8. Smog fotoquímic.....	28
6.2.9. Efectes respiratoris de components orgànics i inorgànics.....	29
6.2.10. Residus associats a la producció: tòxics i no tòxics.....	29
6.2.11. Emissions aquàtiques i atmosfèriques	29
6.3. Indicadors ambientals de sostenibilitat i d'impacte	29
6.3.1. Consum d'energia	30
6.3.2. Consum d'aigua.....	30

6.3.3.	Consum de petroli	30
6.4.	Indicadors econòmic d'impacte ambiental	30
7.	ANÀLISIS DEL CICLE DE VIDA (LCA)	32
7.1.	Estructura	33
7.1.1.	Definició d'objectiu i abast	33
7.1.2.	Anàlisi de l'inventari del cicle de vida (LCI)	34
7.1.3.	Avaluació de l'impacte del cicle de vida (LCIA)	34
7.1.4.	Interpretació del cicle de vida	35
8.	MÈTODES EXPERIMENTALS PER DETERMINAR LA SOSTENIBILITAT	36
8.1.	Mètode estandarditzat de ASTM-D6866	36
8.2.	Mètode del Comitè Europeu de Normalització: CEN/TS 16137:2011	37
8.3.	1.3. Mètode del Comitè Europeu de Normalització: CEN/TS 16295	38
9.	ELS BIO-PLÀSTICS	40
9.1.	Àcid polilàctic (PLA)	41
9.2.	Poliàmides de base biològica	43
9.3.	Polihidroxicanoats (PHA)	44
9.4.	Polimers de mesclades de midó	46
9.5.	Polietilè de base biològica (Bio-PE)	46
10.	FONTS BIBLIOGRÀFIQUES I BASES DE DADES	48
11.	RESULTATS	50
11.1.	Plàstic 1: PLA	50
11.1.1.	Fonts trobades	50
11.1.2.	Indicadors seleccionats	54
11.1.3.	Dades	56
11.1.4.	Interpretació de les dades	57
11.2.	Plàstic 2: PHA	59
11.2.1.	Fonts trobades	59
11.2.2.	Indicadors seleccionats	61
11.2.3.	Dades	62
11.2.4.	Interpretació de les dades	63
11.3.	Plàstic 3: PA	64
11.3.1.	Fonts trobades	64
11.3.2.	Indicadors seleccionats	68
11.3.3.	Dades	69
11.3.4.	Interpretació de les dades	71



11.4. Plàstic 4: Mater-Bi.....	73
11.4.1. Fonts trobades.....	73
11.4.2. Indicadors seleccionats	75
11.4.3. Dades.....	76
11.4.4. Interpretació de les dades.....	77
11.5. Plàstic 5: Bio-PE	78
11.5.1. Fonts trobades.....	78
11.5.2. Indicadors seleccionats	80
11.5.3. Dades.....	81
11.5.4. Interpretació de les dades.....	82
11.6. Comparacions.....	83
11.6.1. Comparació entre els plàstics	83
11.6.2. Comparació entre plàstics convencionals i bio-plàstics.....	90
12. ESTUDI ECONÒMIC	92
13. PLANIFICACIÓ DE LA REALITZACIÓ DEL TREBALL	94
14. IMPACTE AMBIENTAL	95
15. CONCLUSIONS	96
16. AGRAÏMENTS	98
17. BIBLIOGRAFIA	99



2. Glossari

BPA	Bisfenol A
UV	Llum ultraviolada
CFC	Clorofluorocarburs
COV	Compostos orgànics volàtils
NREU	Consum d'energia de no fonts renovables
REU	Consum d'energia de fonts renovables
PM X	Partícules més petites de radi X
LCA	Anàlisi del cicle de vida
ISO	Organització Internacional d'estandardització
SETAC	Societat medi ambiental de toxicologia i química
LCI	Anàlisi de l'inventari del cicle de vida
LCIA	Avaluació de l'impacte del cicle de vida
ASTM	Societat Americana pels Test i Materials
CEN	Comitè Europeu de Normalització
TS	Especificació tècnica
PLA	Àcid polilàctic
PHA	Polihidroxialcanoats
PA	Poliamida
PET	Polietilè tereftalat
Bio-PE	Polipropilè d'origen biològic
LDPE	Polipropilè de baixa densitat
HDPE	Polipropilè d'alta densitat
PE	Polipropilè

Unitats

Escalfament global	kg CO ₂ /kg de resina de plàstic
Petjada aparent: cultius	ha/kg de resina de plàstic
Esgotament de recursos abiòtics	kg Sb/kg de resina de plàstic
Potencial d'acidificació	kg SO ₂ /kg de resina de plàstic
Potencial d'eutrofització	Kg PO ₄ /kg de resina de plàstic
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11/kg de resina de plàstic
Smog fotoquímic	kg NO _x /kg de resina de plàstic
Potencial de creació fotoquímic d'ozó	kg C ₂ H ₄ /kg de resina de plàstic
Potencial de formació d'oxidants fotoquímics	kg C ₂ H ₄ /kg de resina de plàstic
Efectes respiratoris	kg PM 2.5/kg de resina de plàstic
Efectes respiratoris orgànics	kg C ₂ H ₄ /kg de resina de plàstic
Efectes respiratoris inorgànics	kg PM 2.5/kg de resina de plàstic

Eco-toxicitat	kg DCB/kg de resina de plàstic
Eco-toxicitat aquàtica	kg DCB/kg de resina de plàstic
Eco-toxicitat en l'aigua dolça	kg DCB/kg de resina de plàstic
Eco-toxicitat marina	kg DCB/kg de resina de plàstic
Eco-toxicitat terrestre	kg DCB/kg de resina de plàstic
Toxicitat humana	kg DCB/kg de resina de plàstic
Carcinògens	kg C ₂ H ₃ Cl/kg de resina de plàstic
No carcinògens	kg C ₂ H ₃ Cl/kg de resina de plàstic
Residus tòxics	kg/kg de resina de plàstic
Residus no tòxics	kg/kg de resina de plàstic
Consum d'energia	MJ/kg de resina de plàstic
NREU	MJ/kg de resina de plàstic
REU	MJ/kg de resina de plàstic
Consum d'aigua	MJ/kg de resina de plàstic

3. Prefaci

3.1. Origen del projecte

Una de les grans preocupacions globals actuals en tot els sectors tant en l'econòmic, polític social, industrial, etc. És el medi ambient. Essent els materials plàstics un dels elements més controvertits en aquesta temàtica. Es més el fet que aquests hagin estat i estiguin molt qüestionats a nivell ambiental a donat lloc a la creació de nous plàstics que a priori semblen de caràcter més sostenible i amb un impacte menor en vers el medi ambient. Tanmateix, actualment no existeix un sistema quantitatiu per tal d'establir exactament l'impacte ambiental o la sostenibilitat d'aquest plàstics.

3.2. Motivació del projecte

En aquest projecte es pretén aportar algunes solucions a la quantificació de l'impacte ambiental dels bio-plàstics. I consegüentment la comparació seriosa entre els diferents materials per poder-la donar com a una característica tecnològica més dels plàstics, de manera similar a les seves propietats mecàniques o característiques químiques.

No obstant això, és un tema controvertit i difícil de posar d'acord entre els experts. Es per això que, la solució exposada en aquest treball és només una aportació més, organitzada en forma d'estudi imparcial i amb l'objectiu de ajudar a avaluar l'impacte ambiental i la sostenibilitat.

3.3. Abast

L'abast d'aquest projecte inclou únicament la recollida de dades presents en els medis de comunicació científics i tecnològics, incloent revistes científiques, llibres, internet, fonts tecnològiques o similars. No es detallarà com es troben o com es calculen aquests indicadors, que formen part d'una altra línia de recerca més ampla i amb més complexitat.

4. Objectius

En aquest apartat es detallaran quins són els objectius tan generals com específics del projecte per tal d'assentar les bases d'aquest.

4.1. Objectius generals

L'objectiu general d'aquest projecte consisteix en la recollida de totes les dades disponibles, presents a la bibliografia, sobre indicadors ambientals de materials plàstics d'origen amb base biològica, i expressar-los com a base de dades.

4.2. Objectius específics

Els objectius específics d'aquest projecte són:

- Establir els principals indicadors que són utilitzats així com també i diferenciar entre indicadors d'impacte ambiental i indicadors de sostenibilitat i aquells que compleixen ambdós propietats.
- Definir i explicar els indicadors "abstractes" recollits.
- Recollir les dades presents a la bibliografia sobre indicadors ambientals en base al cicle de vida "del bressol a la porta" (cradle to gate) dels plàstics seleccionats (plàstics d'origen biològic)
- Recollir les dades presents a la bibliografia sobre indicadors dels plàstics seleccionats (plàstics d'origen biològic)
- Fer una comparativa entre els valors trobats dels plàstics d'origen biològic.
- Exposar alguns exemples fent una comparativa entre un plàstic de base biològica i un plàstic convencional.

5. Els plàstics i el medi ambient

Cap material a la terra ha estat i està tan altament valorat no només per les seves característiques, sinó també per la seva gran varietat d'usos, que ha permès la creació nous de productes, com el plàstic. Tot i així, els plàstics tal i com ara els coneixem no sempre han estat presents. Anys abans del desenvolupament dels plàstics comercials, ja existien materials amb característiques similars als plàstics actuals, els anomenats plàstics naturals.

Amb els anys l'interès per aquest material va anar guanyant terreny i es va començar a produir les primeres modificacions en els plàstics naturals. Un dels primers plàstics creats va ser el cel·luloide (John W.Hyatt, 1870). Anys després el químic belga Leo Hendrik Baekeland va descobrir el primer plàstic completament sintètic: la baquelita (1907). A partir d'aquest moment i fins l'actualitat l'interès de la societat envers els plàstics, degut a les seves excepcionals propietats i comportament respecte altres materials com el metall o la fusta, ha anat augmentant, així com també la demanda d'aquests.

Actualment, la indústria del plàstic està fortament integrada amb la indústria petrolera, a causa de que la principal matèria primera és el petroli. De fet, la creença és la de que no seria possible la producció de plàstics sense el petroli. Cal remarcar que el polímer pur rarament s'utilitza per si sol. Típicament el polímer es barreja amb diversos additius per tal de millorar les propietats.

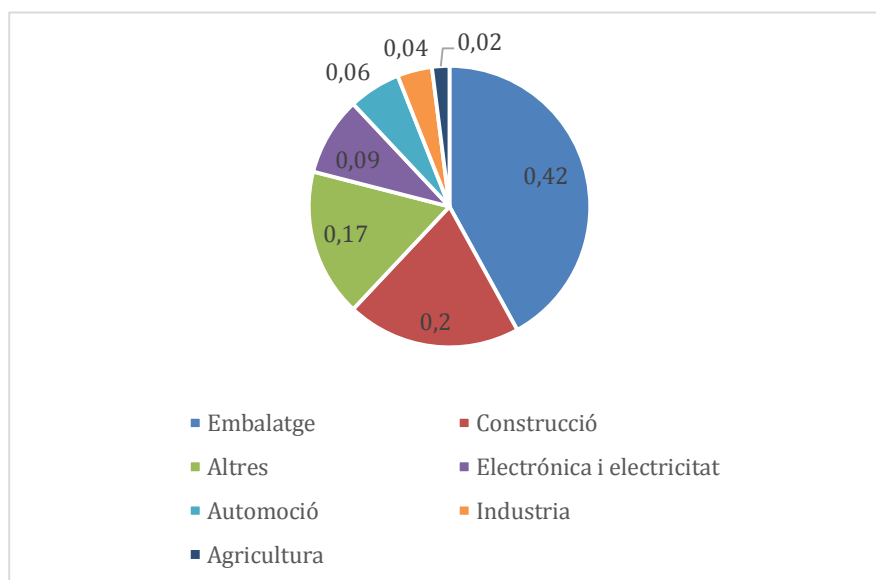
El desenvolupament de la indústria petroquímica és probablement el factor més important en el creixement de la indústria dels plàstics. En un primer moment el creixement potencial dels plàstics va estimular la recerca de la producció de monòmers i altres productes intermedis del petroli. Com a resultat, els productes intermedis van convertir-se en un producte abundant i econòmic i conseqüentment van estimular un creixement major de la indústria dels plàstics.

Una idea de com ha crescut la indústria del plàstic es mostra a la taula 4-1. En un primer moment els plàstics es van utilitzar com una alternativa poc costosa respecte els materials tradicionals. Tot i que més endavant utilització d'aquests va vindre marcada per les magnifiques propietats envers la competència [1].

Taula 5-1. Producció mundial de plàstic [1]

Any	Producció mundial de plàstic (tones)
1939	300.000
1951	2.000.000
1957	4.600.000
1960	6.200.000
1963	8.500.000
1967	18.000.000
1980	50.000.000
1992	91.237.000
1998	135.000.000

Encara que actualment en tots els sectors de la indústria els materials plàstics hi són presents degut al seu baix preu i versatilitat la implementació d'aquests en la indústria ha esdevingut de manera gradual. En alguns sectors els plàstics ja fa temps que són emprats com per exemple en la indústria elèctrica. La indústria de la construcció va començar a valer-se dels plàstics durant els seixanta i progressivament els plàstics es van anant incorporant en l'indústria automobilística, de l'embalatge, mèdica, tèxtil...

**Il·lustració 5-1. Utilització dels plàstics en la indústria[2]**

L'ús del plàstic a evolucionat i s'ha anat estenent en tots els camps i en conseqüència el consum d'aquests ha anat augmentant. Els plàstics s'han convertit en el material adient per



les necessitats d'una població que creix ràpida. En el il·lustració 5-1 es mostra l'actual ús del plàstic a Europa occidental. Tal i com es pot veure el 42% de el plàstic és utilitzat per embalatge. Però no només són versàtils per aquest ús sinó també en la construcció i l'automoció ja que serveix com a substitut de metall o fusta.

Amb l'increment d'aquest ús i a partir dels setanta ha anat creixent la inquietud envers l'impacte dels plàstics en l'ambient. L'acreixement de la consciència cap a la necessitat de la conservació dels recursos, la nocivitat de la contaminació i el canvi de mentalitat de la societat cap a una millora de la qualitat de vida més enllà de la oferta dels bens materials a donat com a resultat una crítica cap les indústries químiques i per tan també cap a la del plàstic[2].

Un dels aspectes més problemàtics dels plàstics és la principal matèria prima que s'utilitza per la seva producció. Com ja s'ha comentat abans la principal font de matèria prima és el petroli i aquest és un recurs no renovable. Per altra banda, la dependència de combustibles fòssils com a font energètica per la producció també s'ha de tenir en compte. Aquesta dependència vers els recursos fòssils i la seva utilització afecta en gran mesura al canvi climàtic.

El canvi climàtic es refereix a un canvi en l'estat del clima que pot ser identificat (per exemple, utilitzant proves estadístiques) per els canvis en la mitja i o la variabilitat de les seves propietats i que persisteix durant un període prolongat típicament dècades o més temps. Es refereix a qualsevol canvi en el clima a través del temps ja sigui degut a la variabilitat natural o com a resultat de la activitat humana.

Quan aquest canvi és atribuït de manera directa o indirecta a l'activitat humana que altera la composició de l'atmosfera mundial i que es suma a la variabilitat natural del clima observat durant períodes de temps comparables, s'anomena canvi climàtic per causes antropogèniques. Actualment el petroli i la indústria que ell arrossega és un dels principals contribuents en d'aquest canvi.

Aquest procés compren en certa manera molts dels indicadors explicats en apartats posteriors com podria ser: l'escalfament global, les emissions de gasos d'efecte hivernacle, esgotament d'ozó... però també altres com el nivell del mar, el canvi en les precipitacions o l'assiduitat dels fenòmens extrems.

L'altre aspecte problemàtic són els residus generats pel plàstic. El problema dels residus rau en la magnitud de l'ús del plàstic. L'abundància de residus plàstics es pot catalogar com un impacte antropogènic als sistemes naturals, que tot i que és de reconeguda problemàtica, és un problema que persisteix i segueix creixent. El número de potencials conseqüències nocives va en augment i degut als additius aquest augment encara creix més.

A Estats Units més de 27 bilions de kilograms de plàstic són descartats en el flux de residus cada any. A Europa occidental més de 16 bilions de kilograms de plàstic són generats cada any. I més de la meitat dels residus plàstics van a parar a abocadors municipals. El plàstic en l'actualitat és una part significant dels abocadors municipals, i representa un component d'aquests en creixement. Els plàstics ocupen al voltant d'un 18% del volum dels abocadors.

Quasi tots els residus plàstics, incloent una proporció elevada de aplicacions d'un sol ús com l'embalatge, són dipositades als abocadors. Quasi una tercera part d'aquest prové de l'embalatge que s'ha descartat abans del seu ús. El plàstic provinent de la construcció té una vida més llarga, el que significa que una gran quantitat del plàstic que es va posar dècades abans començarà a aparèixer i incrementant el nivell de residus[2].

Com a residu, els plàstics també tenen problemes. Els residus plàstics són perillosos per una gran varietat d'animals i ecosistemes. No només representen un perill pels animals que poden ingerir-los o entrelligassar-se en ells sinó també produir un malmetement cap a la flora de l'ecosistema.

Un dels ecosistemes més afectats pels plàstics són els marins. Des de les primeres dades de la presència de plàstics en aquest ecosistema cap els anys seixanta, la extensió del problema s'ha anat convertint ràpidament en innegable i compren des de oceans fins a línies costeres passant per les profunditats marines.

Molts dels polímers floten en l'aigua, i degut a que la gran quantitat de cartró, bosses i ampolles estan atrapades a l'aire, una quantitat considerablement gran de residus plàstics va a parar al mar. Com a conseqüència, els plàstics presenten una proporció de un 50 al 80% de les deixalles presents en les línies costeres. Més de 100.000 productes per metre quadrat a les zones costeres i més de 3.520.000 productes per kilòmetre quadrat a la superfície oceànica.

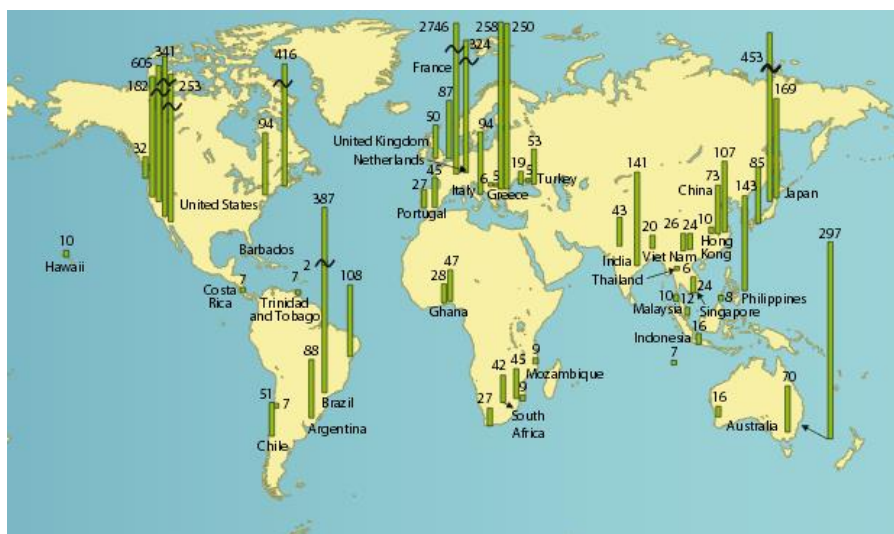
Tot i la flotabilitat dels polímers, els plàstics també poden embrutar els ecosistemes amb la sedimentació d'aquests al llit marí. A Europa la quantitat de deixalles al llit marí pot excedir



els 10.000 productes per hectàrea.

Una altra problemàtica en els ecosistemes marins degut als residus plàstics és la fragmentació d'aquests. Tot i que, els polímers tenen una gran durabilitat, els productes plàstics són fragmentats en l'ecosistema degut a una prolongada exposició als UV i a l'abradió. La gran preocupació de l'acumulació de fragments resideix en la dificultat que presenta l'extracció d'aquests de l'ecosistema i la possible ingesta per part de la fauna. La societat de conservació marina de UK declarà al 2007 un increment en l'abundància d'un 30% dels fragments llargs i un 20% dels petits des de 1998 fins al 2006 [3].

Per altra banda, les preocupacions sobre els impactes químics dels plàstics al mar en són dos: la corresponent als additius i la donada per la bioacumulació i per les substàncies tòxiques (PBT) que s'acumulen al plàstic durant el temps. La primera compren alguns additius que s'utilitzen en la manufactura dels plàstics (BPA, nonifenol...) que tenen efectes adversos en la salut a altes concentracions. La segona inclou l'acumulació degut a l'absorció de PBT, ja presents en l'aigua marina i en els sediments, dels fragments de plàstic nocius també per la salut (Il·lustració 4-2).



Il·lustració 5-2. Concentració de PCB un de les substàncies PBT. [3]

Donat els problemes que presenta el plàstic i l'impacte sobre el medi d'aquells, el reciclatge dels plàstics s'ha convertit en un factor important en el cicle de vida d'aquests. Tot i que els productors de plàstics ja fa temps que reciclen internament les restes que són generades durant els processos, a escala post-consumidor el reciclatge és relativament nou.

Amb tot, el reciclatge de plàstics té les seves limitacions. La recol·lecció i classificació són

sols els primers passos en el reciclatge, la tecnologia pel reciclatge està encara en desenvolupament, el reciclatge de mesclades de diferents plàstics presenta avui en dia un gran handicap, cal citar també, la pèrdua de massa durant els diferents processos de reciclatge i el deteriorament del plàstic. Així mateix, un gran tan per cent dels residus plàstics no són reciclats i són moguts a etapes d'eliminació en les quals podem trobar diferents mètodes. Els més importants són la incineració, els abocadors i el compostatge.

La incineració també es pot considerar com un reciclatge d'energia degut a la possibilitat de generar calor. Tanmateix, destrueix el material i no redueix la dependència cap a les primeres matèries. Si és cert que els incineradors poden funcionar de manera neta i eficient amb una bona tecnologia i a la vegada generar energia; la preocupació rau de la toxicitat dels materials cremats. Els principals contaminants de la crema de plàstics inclouen clorur d'hidrogen, metalls pesats i dioxines [3].

Per altra banda, els abocadors són la última parada en el flux de residus. Representen recursos altament devaluats i suposen riscos (inclosos toxines en fonts d'aigua, en la terra, la incontrolada producció de metà...). Per altres problemes que el plàstic pugui tenir en els abocadors, els plàstics són molt voluminosos tot i que estiguin compactats. Aquests fet comporta en si un gran problema el desenvolupament de noves àrees destinades a l'abocament de plàstics.

En últim terme, i en certa manera més recent trobem el compostatge de plàstics com a recurs d'eliminació. En el tractament biològic, tant sigui en forma de compostatge o biogàsificació, la consumició de energia depèn en gran mesura del nivell de tecnologia emprat. Tot i així, aquesta tecnologia és aplicada amb els plàstics naturals més que no els sintètics[2].

En conjunt, els plàstics ofereixen beneficis considerables, però es evident que els enfocaments actuals en la producció, utilització i disposició final no són sostenibles i ataquen a la fauna i flora terrestre així com també a la salut humana.



6. Indicadors

El desenvolupament de la tecnologia industrial ha estat capaç de transformar el medi ambient de diferents maneres, canviant la natura i augmentant l'impacte ambiental degut a les activitats industrials. L'exhauriment dels recursos, la contaminació de l'aire, l'aigua i la terra, són exemples dels problemes que han sorgit com a resultat de la intensa intervenció industrial en el medi. A causa d'aquests problemes la creixent preocupació arran del medi ambient ha donat lloc a diverses eines per tal de resoldre el problema o si més no mitigar-lo. Les eines en les quals es centra aquest treball són els indicadors.

Un indicador quantifica i simplifica un fenomen i ajuda a entendre realitats complexes. Un indicador dona informació sobre canvis en un sistema. Per exemple, els indicadors financers són aquells que ens descriuen els canvis econòmics en un estat individual, regional o nacional. En el cas dels indicadors d'informació sobre el medi ambient es distingeixen dos tipus: els indicadors de sostenibilitat i els indicadors ambientals d'impacte.

6.1. Indicadors ambientals de sostenibilitat

Aquests indicadors són els que informen de la sostenibilitat d'un sistema. Conseqüentment, per tal d'entendre aquest tipus d'indicador s'haurà de definir el terme sostenibilitat.

La sostenibilitat és la capacitat de qualsevol sistema o procés per mantenir-se per si sol idèntic. Per tant, el desenvolupament sostenible és el desenvolupament dels sistemes socials, econòmics i humans capaços de mantindre de manera indefinida l'harmonia amb els sistemes biofísics del planeta. L'objectiu principal del desenvolupament sostenible és proveir a tothom, a tot arreu i en qualsevol moment en el temps de la oportunitat de viure amb la mateixa qualitat de vida.

Per tant, els indicadors de sostenibilitat han de mesurar característiques o processos dels sistemes medi ambientals i humans que assegurin la continuïtat i la funcionalitat més enllà del present. Aquests indicadors són els que capturen de manera essencial les característiques d'un sistema i mostren de manera científicament verificable la trajectòria del manteniment o millora del sistema.

L'objectiu doncs d'aquest tipus d'indicadors és identificar els canvis irreversibles en els quals



la recuperació es impossible donant-nos informació de quins sistemes s'han de substituir i quines compensacions són necessàries.

Els principals indicadors de sostenibilitat són:

6.1.1. Petjada ecològica

La petjada ecològica és un indicador del desenvolupament sostenible introduït per Rees (1992) i desenvolupat per Wackernagel (1996, 1999) que actua com una eina quantitativa d'avaluació bio-física per tal d'estimar la utilització sostenible dels recursos naturals.

El model de petjada ecològica assumeix que qualsevol tipus de consum de recursos naturals o de producció de residus requereix una capacitat d'absorció representada per una àrea finita. En altres paraules, es defineix com l'àrea de territori ecològicament productiva (cultius, pasturatge, boscs i ecosistemes aquàtics) necessària per produir els recursos utilitzats i per assimilar els residus produïts per una població definida amb un nivell de vida específic on sigui que es trobi aquesta àrea. La petjada ecològica suma i estima la grandària de diverses àrees utilitzades tot i que les diferents etapes de producció es produeixin a llocs diferents.

La petjada ecològica mesura la bio-capacitat en hectàrees globals (gha), que representen el percentatge de terra biològicament productiva a la terra.

En el càlcul de la petjada ecològica s'interrelacionen unes superfícies o territoris productius dels ecosistemes amb les categories necessàries per satisfer tot el cicle de vida. Aquestes superfícies o territoris productius, alhora conformen una petjada ecològica parcial i mitjançant totes elles s'obté la global. Els territoris productius o petjades ecològiques parcials són:

- **Petjada de carboni:** relacionada amb l'energia. La petjada de carboni dóna l'equivalent a l'àrea teòrica que es requereix per tal de aïllar totes les emissions de CO₂ equivalents l'activitat humana.
- **Petjada de terres de pasturatge:** relacionada amb les terres de pasturatge. Aquesta dóna l'equivalent a la terra destinada al pasturatge. La terra de pasturatge és aquella destinada a la cria del bestiar, producció de llet i derivats...

- **Petjada forestal:** relacionada amb la terra forestal. Aquesta dóna l'equivalen a l'àrea de bosc o plantació utilitzada per productes de fusta i recol·lecció de llenya.
- **Petjada de zones pesqueres:** relacionada amb les zones de pesca. La petjada de zones pesqueres dóna l'àrea equivalent a la utilitzada per les activitats de pesca, incloent tant les activitats produïdes en aigua dolça com salada.
- **Petjada de cultius:** relacionada amb la terra destinada als cultius. La petjada de cultius mesura la terra destinada als cultius. Les terres de cultiu són les terres més bio-productives que consisteixen en àrees utilitzades per a produir menjar, fibres pel consum humà, olis, goma i aliments per emmagatzemar.
- **Petjada de terra urbanitzada:** relacionada amb la terra urbanitzada. Aquesta dóna l'equivalent a la terra utilitzada per a construir infraestructures per la producció industrial, transport o residència.

La metodologia darrere del càlcul de la petjada ecològica segueix desenvolupant-se degut a la continua incorporació de dades científiques i a l'evolució el coneixement. Tanmateix, per tal de expressar la petjada ecològica en una sola unitat mesura, la ja anomenada hectàrees globals, la petjada ecològica ha de normalitzar els diferents tipus d'àrees a conseqüència de les diferències entre les diferents terres i la seva productivitat. Els factors d'equivalència i els factors de rendiment s'utilitzen per tal de transformar àrees en hectàrees de diferents terres en els l'equivalent a hectàrees globals.

Els factors d'equivalència transformen una terra específica en les unitats d'àrea biològicament productiva, és a dir, hectàrea global. Per altra banda, els factors de rendiment tracten la diferència entre la producció d'una tipus de terra donada entre diferents nacions [4].

6.1.2. Escalfament global

L'escalfament global és una mesura relativa de quanta calor un gas d'efecte hivernacle atrapa a la atmosfera. Compara la quantitat de calor atrapada per una certa massa de gas amb una quantitat similar o igual de massa de CO₂ atrapada. L'escalfament global es calcula per un període específic de temps, per norma general es solen treballar en períodes de 20, 100 o 500 essent el de 100 el més comú de tots ells. Una de les principals conseqüències del escalfament global és el canvi climàtic[5].



6.1.3. Esgotament de recursos abiòtics

Per tal d'entendre aquest indicador ambiental de sostenibilitat es necessària la definició de recurs abiòtic. Els recursos abiòtics són recursos naturals incloent l'energia i essent aquests recursos tan renovables com no renovables. Exemples de recursos abiòtics podrien ser: el cru de petroli, l'energia eòlica o el ferro com a mineral.

D'aquesta manera aquest indicador ens mesura l'esgotament dels recursos naturals renovables o no. L'esgotament de recursos abiòtics és una dels indicadors més utilitzats i discutits. Per aquest motiu existeixen una gran varietat de mètodes per tal de caracteritzar aquest indicador. Degut a la diversitat de metodologies en el càlcul de l'esgotament dels recursos abiòtics les unitats poden canviar o fins i tot pot ser un indicador adimensional [5].

6.1.4. Material requerit

El material requerit ens indicar quina matèria primera i quantitat d'aquesta requerida per produir un producte. En aquest cas la matèria primera també inclou material exportat i importat.

6.1.5. Material subjecte a reciclatge

En qualsevol procés productiu d'una determinada activitat, bé o servei es produeixen residus. Aquest indicador representa el potencial d'aquests materials (els residus) a ser reciclats. De manera que, el material subjecte a reciclatge dóna una mesura de l'eficiència en la producció, a més a més de una dada de sostenibilitat.

6.2. Indicadors ambientals d'impacte

Aquest indicadors són els que informen de l'efecte de les activitats humanes sobre el medi ambient, de les implicacions d'aquelles accions contraproductives per la salut humana, qualitat de la vida i integritat dels ecosistemes.

En el cas dels indicadors ambientals són valors numèrics que descriuen l'estat del medi ambient i l'impacte d'aquest en els éssers humans, ecosistemes i materials; les pressions sobre el medi ambient, les forces motrius i les respostes que es dirigeixen a aquell sistema. Els indicadors es desenvolupen sobre la base de mesures quantitatives o estadístiques de les condicions ambientals. Aquests poden ser utilitzats a escala local, regional, nacional o

global.

Els principals indicadors d'impacte ambiental són:

6.2.1. Eco-indicador'99

Els eco-indicadors són números que expressen l'impacte ambiental d'un procés o producte. Aquests eco-indicadors es poden analitzar les carregues ambientals de determinats productes durant el seu cicle de vida.

En mètode de l'anàlisi del cicle de vida (mètode que s'explicarà en apartats posteriors) s'hi ha desenvolupat un mètode per incloure coeficients de ponderació. Això permet calcular un sol valor per l'impacte ambiental basat en els efectes calculats en l'anàlisi del cicle de vida. El número o xifra resultant és l'eco-indicador.

L'eco-indicador de un material o procés consisteix doncs, en un número que indica l'impacte ambiental del material o procés avaluat, a partir de totes les dades obtingudes de l'anàlisi de cicle de vida. Com més gran l'indicador més gran l'impacte ambiental.

L'eco-indicador 99'contempla 3 tipus de danys:

- A la salut humana
- A la qualitat del medi ambient
- Als recursos

La metodologia dels eco-indicadors s'utilitza per calcular valors estàndards aconsegueix els requisits de la norma ISO 14042 encara que pot diferir en alguns detalls. Per altra banda, cal remarcar que els eco-indicadors es poden considerar adimensionals. S'utilitza com a base el "punt eco-indicador" (Pt). Tot i així, per norma general s'utilitza els milipunts (mPt).

Per tal d'utilitzar els eco-indicadors de forma adequada s'han de seguir certs passos:

- Definir el propòsit del càlcul dels eco-indicadors: descriure el component del producte o productes que s'han d'analitzar, definir si s'estan duent a cap anàlisis simplificats del producte o una comparació entre varis i definir el nivell de precisió requerida.
- Definir el cicle de vida: realitzar una panoràmica esquemàtica del cicle de vida



d'un producte tenint en present tan les fases de producció com l'ús i l'eliminació dels residus del producte.

- Quantificar els materials i els processos: determinar la unitat funcional, quantificar els processos rellevants del arbre de processos i valorar les dades que falten.
- Emplenar el formulari: anotar els materials dels processos així com les seves quantitats, anotar els valors dels eco-indicadors rellevants, calcular els resultats multiplicant les quantitats per el valor dels indicadors i sumar els resultats totals.
- Interpretar els resultats: combinar conclusions provisionals amb els resultats, comprovar els efectes de les suposicions realitzades y de les incerteses detectades, modificar les conclusions (si es necessari) i comprovar si s'ha aconseguit l'objectiu del càlcul.

Els valors estàndards del eco-indicador 99' es classifiquen en:

- Materials: en aquest indicador s'inclouen tots els processos, des de l'extracció de les primeres matèries fins l'última fase de l'elaboració, i també el transport. No s'inclou la producció de bens d'equip, com maquinaria i edificis.
- Processos de producció: aquests indicadors es refereixen a les emissions del procés en si i a la dels processos de generació d'energia necessaris. Tampoc estan inclosos els bens d'equip.
- Processos de transport: els processos de transport inclouen l'impacte de les emissions causades per l'extracció y la producció del combustible i la generació de l'energia d'aquest combustible en el transport. (transport per carretera, ferrocarril i aeri per diferents tipus de carga). En aquest cas els bens d'equip si estan inclosos, és a dir, construcció de carreteres o infraestructures fèrries...
- Processos de generació d'energia: aquests indicadors es refereixen a l'extracció i la producció de combustibles.
- Escenaris d'eliminació: són aquells processos pertinents a l'eliminació de les deixalles tals com: incineració, abocadors i reciclatge [6].

6.2.2. Gasos d'efecte hivernacle

La terra absorbeix part de l'energia que rep del sol i irradia la resta al espai. Tanmateix, alguns gasos a l'atmosfera, anomenats gasos d'efecte hivernacle absorbeixen alguna d'aquesta energia irradiada de la terra i la atrapen a l'atmosfera. Aquests gasos,

essencialment, actuen com un llençol i fan que la superfície terrestre s'escalfi. Mentre que "l'efecte hivernacle" es dona lloc de forma natural fent possible la vida, les activitats humanes han fet i fan que s'hagi incrementat notablement la presència d'aquests gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera, causant un augment no natural de la calor a la terra i canviant el clima. Aquest indicador es focalitza en les emissions de diòxid de carboni, metà, òxid nitrós, i alguns gasos floronats (tots ells decisius en l'increment de l'efecte hivernacle) [5].

6.2.3. Potencial d'esgotament d'ozó

La capa estratosfèrica d'ozó forma un fi escut en la part superior de l'atmosfera protegint la vida de la llum ultraviolada (UV). Els components que contenen molècules amb clor i brom, com el metil cloroform, els halons, i els clorofluorocarbonis (CFC) són estables i tenen vides suficientment llargues com per ser transportades per el vent fins l'estratosfera. Quan aquestes substàncies arriben a la capes exteriors de l'atmosfera aquests clors i broms s'alliberen i ataquen l'ozó present d'aquesta manera la capa d'ozó va desapareixen. Aquest indicador ens relaciona el impacte d'una activitat, bé o servei en la capa d'ozó [7].

6.2.4. Potencial d'acidificació

La acidificació dels terres i les aigües apareix predominantment a través de la transformació dels contaminants atmosfèrics en àcids. Això porta a decreixement del pH de l'aigua dolça i de la boira; fet que malmet els ecosistemes. El diòxid de sofre i el òxid de nitrogen i els seus respectius àcids contribueixen en gran mesura en aquest efecte. L'acidificació te conseqüències tan directes com indirectes pot afectar directament a les concentracions de sofre en el sòl i l'aigua però també a infraestructures com edificis. El potencial d'acidificació proporciona el diòxid de sofre equivalent. Aquest indicador descriu l'habilitat de certes substàncies a construir o alliberar protons. Algunes emissions poden també considerar-se com acidificants tot i així la substància de referència és el diòxid de sofre [8].

6.2.5. Potencial d'eutrofització

L'eutrofització es l'enriquiment de qualsevol sistema amb nutrient químics típicament compostos que contenen nitrogen, fòsfor o ambdós a conseqüència d'aquest augment excessiu de nutrients es produeix un creixement massiu d'algues que porten a un dèficit d'oxigen. L'eutrofització és un procés natural que es dona en llacs. Altrament, l'activitat humana pot accelerar el grau en que aquests nutrients entren en els diferents ecosistemes



l'activitat agrícola o industrial són exemples d'activitats generadores d'eutrofització antropogènica. Tot i que el nitrogen l'aire i l'aigua afavoreixen a aquest efecte aquest indicador expressa el PO₄ equivalent i mostra o relaciona una activitat o procés amb el seu potencial d'eutrofització.

6.2.6. Eco-toxicitat

L'indicador eco-toxicitat és un indicador que mesura els efectes produïts pels productes químics emesos de qualsevol activitat en organismes no humans. Aquest indicador es pot dividir en dos indicadors més específics: eco-toxicitat aquàtica i la terrestre.

6.2.6.1. Eco-toxicitat aquàtica

L'indicador de eco-toxicitat aquàtica és un indicador que mesura l'efecte de diferents compostos químics en organismes aquàtics representats per tres nivells tròfics: vertebrats (peixos), invertebrats (crustacis) i plantes (algues). Aquest indicador es pot dividir en dos: l'eco-toxicitat d'aigua dolça i la de aigua salada. El temps horitzó normalment emprat es infinit.

Eco-toxicitat d'aigua dolça: aquest indicador marca l'impacte en els ecosistemes d'aigua dolça com a resultat de les emissions tòxiques al aire, aigua i terra.

Eco-toxicitat marina: aquest indicador marca l'impacte de substàncies tòxiques en ecosistemes marins.

6.2.6.2. Eco-toxicitat terrestre

L'indicador de toxicitat terrestre és un indicador que mesura els efectes de les substàncies emeses a l'ambient en qualsevol activitat en ecosistemes terrestres com boscos.

6.2.7. Toxicitat humana

L'indicador de toxicitat humana calcula un índex que reflexa el dany potencial d'una unitat d'algun producte químic emès al ambient. Aquest indicador es pot avaluar en termes de carcinògens o no carcinògens. Es per aquest motiu que aquest indicador es pot dividir en carcinògens i no carcinògens.

6.2.7.1. Carcinògens i no carcinògens

Les emissions es poden avaluar en termes de benzè equivalent el qual correspondria a l'indicador de carcinògens o en termes de toluè equivalent que correspondria a l'indicador de no carcinògens. El indicador corresponent als cancerígens representa el potencial cancerigen de les emissions d'una activitat química per contra el no cancerigen representa el potencial no cancerigen però si tòxic de les mateixes emissions.

6.2.8. Smog fotoquímic

L'smog fotoquímic és una mescla de contaminants que es formen quan els òxids de nitrogen i els compostos orgànics volàtils (COV) reaccionen a la llum solar, creant una boira lleugera marró per sobre de llocs amb gran activitat industrial. Aquest indicador mesura la capacitat que té una activitat a contribuir en aquest efecte.

Tal com s'ha dit, els compostos d'òxid de nitrogen i els compostos volàtils són els responsables d'aquest efecte aquests són els anomenats contaminants primaris. Per altra banda, també existeixen els contaminants secundaris que es formen com l'ozó que es forma a nivell de terra (molt contaminant en aquest nivell) o altres substàncies que també es formen com el nitrat de peroxi-acetil [9]. Aquest indicador pot dividir-se en els següents indicadors:

6.2.8.1. Potencial de formació d'oxidants fotoquímics

La oxidació fotoquímica o smog d'estiu és l'efecte que es produeix quan es formen contaminants secundaris. L'indicador de potencial de formació d'oxidants fotoquímics relaciona una activitat amb la contribució corresponent als contaminants secundaris [5].

6.2.8.2. Potencial de creació fotoquímic d'ozó

Com ja s'ha explicat els òxids de nitrogen i els compostos orgànics quan són exposats a la llum solar poden crear diverses molècules o contaminants. Un d'aquests contaminants és l'ozó que a nivells baixos es molt danyí. Aquest indicador, el potencial de creació fotoquímic d'ozó, ens relaciona una activitat amb la contribució d'aquest efecte[10].



6.2.9. Efectes respiratoris de components orgànics i inorgànics

Els microorganismes presents en el terra, aigua i ambient juguen un rol vital en el cicle de vida terrestre. Tanmateix en les últimes dècades l'augment de l'activitat industrial ha incrementat els contaminants orgànics com inorgànics. Aquests contaminants afecten a la vida de microorganismes i a les seves activitats microbianes afectant a la respiració. Aquest indicador es pot dividir en dos: efectes respiratoris causats per components orgànics i efectes respiratoris causats per components inorgànics [11].

6.2.10. Residus associats a la producció: tòxics i no tòxics

En qualsevol procés productiu d'una determinada activitat, bé o servei es produeixen residus. Aquest indicador representa la quantitat de residus associats al procés productiu d'una activitat, bé o servei. Aquest indicador alhora es pot dividir en dos indicadors: indicador de residus tòxics associats a la producció o de no tòxics.

L'indicador de residus tòxics associats a la producció ens dona la quantitat de residus tòxics per una determinada activitat, bé o servei. Es consideren residus tòxics com aquells residus que degut a la quantitat, combinació o concentració física i/o química o per les seves característiques infeccioses pot causar o contribuir significativament a un augment en la mortalitat greu i irreversible i plantejar un perill potencial per la salut humana o el medi ambient quan aquests (els residus) són tractats de forma inadequada. Per altra banda l'indicador de residus no tòxics associats a la producció ens dona la quantitat de residus no tòxics [12].

6.2.11. Emissions aquàtiques i atmosfèriques

En qualsevol procés productiu de qualsevol activitat es produeixen emissions tan en l'atmosfera com en l'aigua. Algunes són tan importants que tenen han estat explicades degut als efectes que causen les emissions de alguns components. Altres emissions no causen efectes tan directes i per tant s'engloben en aquest tipus de indicadors que el que fa es quantificar les concentracions que són emeses al ambient en relació al procés productiu d'una activitat.

6.3. Indicadors ambientals de sostenibilitat i d'impacte

Per altra banda, existeixen diversos indicadors que es poden classificar tant com a

indicadors de sostenibilitat com a indicadors ambientals d'impacte. Aquest són:

6.3.1. Consum d'energia

Aquest indicador associa el consum d'energia per tal de produir una unitat funcional d'una activitat, be o servei. Aquest indicador es pot dividir segons l'origen de l'energia: consum d'energia provinent de recursos renovables i consum d'energia provinent de recursos no renovables.

6.3.1.1. Consum d'energia de fonts no renovables (NREU)

Aquest indicador dóna un valor que correspon a l'energia utilitzada en la producció de una activitat, bé o servei de fonts o recursos no renovables.

6.3.1.2. Consum d'energia de fonts renovables (REU)

Aquest indicador dóna un valor que correspon a l'energia utilitzada en la producció de una activitat, bé o servei de fonts o recursos renovables.

6.3.2. Consum d'aigua

Aquest indicador associa el consum d'aigua necessària per tal de produir una unitat funcional d'una activitat, be o servei.

6.3.3. Consum de petroli

Aquest indicador representa el consum de petroli que s'associa a el procés productiu d'una determinada activitat, be o servei.

6.4. Indicadors econòmic d'impacte ambiental

Molt recentment l'agència ambiental europea (AAE) ha publicat un primer esborrany d'un nou indicador. Aquest indicador dóna informació sobre el cost de la pol·lució en l'aire causada per les indústries europees. Aquest aplica un model simplificat de costos a la salut de la flora i fauna medi ambiental causada per les emissions de de partícules en l'aire. Els principals contaminants aeris que s'inclouen en aquest indicador són:

- Principals contaminants: amoníac, òxids del nitrogen, els compostos orgànics diferents al metà, partícules PM10 i òxids del sofre



- Metalls pesats: arsènic, cadmi, crom, plom, mercuri i níquel
- Compostos orgànics; Benzè, dioxines i furans i hidrocarburs aromàtics policíclics
- El diòxid de carboni

Tots aquests contaminants poden resultar perillosos per la salut humana i també per el medi ambient. Tal i com es veu en taula següent (Taula 5-1) es pot associar un cost als contaminants esmentats anteriorment:

Taula 6-1. Cost associat als danys produïts pels contaminants

Grup de contaminants	Cost associat al dany produïts pels contaminants (bilions Euros ₂₀₀₅)				
	2008	2009	2010	2011	2012
Principals	58-168	47-136	44-129	43-124	40-115
CO₂	20-82	18-73	19-76	18-74	18-73
Metalls pesats	0.53	0.34	0.43	0.34	0.34
Compostos orgànics	0.22	0.11	0.17	0.22	0.1
Total	79-251	65-209	64.206	62-199	59-189

En alguns casos els costos s'expressen en rangs degut a que es fan servir diferents metodologies i suposicions en els càlculs dels costos. Per tant també s'ha de dir que existeix una certa incertesa pel que fa aquest indicador. Tot i que és tracta d'un indicador molt il·lustratiu de de caràcter entenedor per tal establir a simple vista una aproximació de l'impacte ambiental d'una activitat aquest està en desenvolupament i sols es possible aplicar-ho a indústries no pas a objectes ni processos [13].

7. Anàlisi del cicle de vida (LCA)

Tot producte té un inici, començant per el disseny i desenvolupament, seguit per l'extracció de material, producció (la producció dels materials, així com també, la fabricació del producte), l'ús o consumició, i finalment les activitats corresponents al seu final (recol·lecció, reutilització, reciclatge o abocament...). Totes les activitats o processos, en la vida d'un producte donen com a resultat impactes ambientals deguts a la consumició de recursos, emissió de substàncies a la natura i altres intercanvis ambientals.

L'anàlisi de cicle de Vida (LCA) és una eina de gestió ambiental que ens permet quantificar els límits ambientals i els seus potencials impactes sobre tot el cicle de vida del producte, procés o activitat. En altres paraules, és una tècnica per l'assessorament en l'actuació ambiental d'un producte, procés o activitat des de que neix fins que mor, és a dir, des de l'extracció de les primeres matèries fins a la seva disposició final.

L'anàlisi del cicle de vida (LCA) no és una eina utilitzada durant la fase de disseny i desenvolupament del producte. Tot i així, les decisions preses en aquesta fase venen molt influenciades per l'impacte del producte durant tota la vida d'aquest. L'objectiu del LCA doncs és la millora de els béns i serveis per tal de disminuir l'impacte ambiental d'aquests i la utilització dels resultats del anàlisi per futurs processos en el desenvolupament de les fases de disseny.

Els primers estudis que actualment són reconeguts com anàlisi de cicle de vida parcial daten dels darrers anys seixanta a principis dels setanta. Durant els anys vuitanta l'interès per LCA va anat creixent. El període comprès entre els setanta als noranta és el corresponent a un període de concepció d'aquest anàlisi donant lloc a un gran rang de aproximacions, terminologies i resultats. Durant aquesta època LCA va ser utilitzat amb diferents metodologies i sense una estructura definida. Durant la dècada del noranta LCA es va estandarditzar. Un gran nombre de organitzacions, inclosa "the International Organization for Standardization" (ISO), es van involucrar en el tema, desenvolupant i harmonitzant els mètodes a la vegada que, estandarditzaven les tècniques i els procediments. Actualment, tot i que la demanda de LCA segueix augmentant hi ha hagut una divergència entre els mètodes alhora de implementar LCA degut a que no s'ha establert cap acord entre les possibles interpretacions dels requeriments de la ISO. En conseqüència s'han establert diferents tipus de LCAs: el dinàmic, l'espacialment diferenciat, el basat en el risc i el basat en



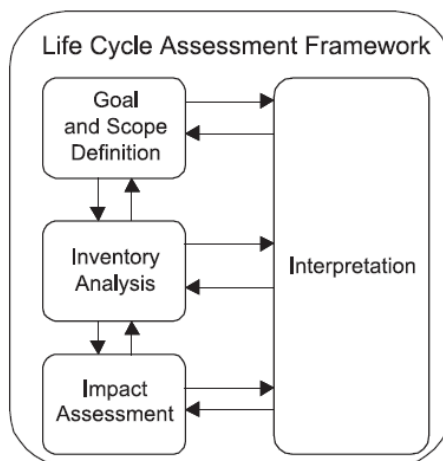
les entrades i sortides medi ambientals basat en un LCA híbrid, també cal nombrar el cicle de vida del cost.

7.1. Estructura

Els professionals de LCA tabulen les emissions i la consumició de recursos, a la vegada que altres intercanvis medi ambientals de cada una de les etapes rellevants (anomenades fases) d'un producte des del naixement fins la mort. Després de la compilació de dades, la tabulació i un anàlisi preliminar de tots els intercanvis medi ambientals és necessari la interpretació dels indicadors als quals se'ls associa un dels intercanvis medi ambientals. Segons "The Society of Environmental Toxicology and Chemistry's" (SETAC) i la ISO es distingeixen quatre components de LCA:

- Definició de l'objectiu i abast.
- L'anàlisi de l'inventari del cicle de vida (LCI)
- L'avaluació de l'impacte del cicle de vida (LCIA)
- La interpretació del cicle de vida

La última fase o component interactua amb la resta de les fases de LCA durant tot el procediment tal i com es mostra a la il·lustració 6-1.



Il·lustració 7-1. Interacció entre les diferents parts del LCA [14]

7.1.1. Definició d'objectiu i abast

La definició de l'objectiu i l'abast és potser la fase més important de LCA ja que, totes les

subsegüents fases es basen en hipòtesis fetes en aquesta fase en la que es defineix principalment: el propòsit del estudi, el producte, els límits del sistema i la unitat funcional.

Els límits del sistema són normalment il·lustrats per un diagrama de flux amb entrades i sortides. Totes les operacions que contribueixen al cicle de vida del producte, procés o activitat entren dintre del límit del sistema [14].

Qualsevol comparació del LCA ha de basar-se en una unitat comparable per tal de obtenir una clara interpretació. Es en aquest punt on apareix el terme d'unitat funcional. La unitat funcional està normalment basada en la massa de producte d'estudi, però també es poden utilitzar altres com terra (superfície), bosses...

7.1.2. Anàlisi de l'inventari del cicle de vida (LCI)

Aquesta fase és en la que més temps i treball s'inverteix. Aquesta fase tracta de recollir dades. Els procediments més habituals en són la consulta i recollida de dades mitjançant bases de dades. Els passos a seguir són:

- Desenvolupament d'un diagrama de flux
- Desenvolupament d'un pla de recollida de dades
- Recollida de dades
- Avaluació de resultats[14]

7.1.3. Avaluació de l'impacte del cicle de vida (LCIA)

L'objectiu de l'avaluació de l'impacte del cicle de vida (LCIA) és el de comprendre i avaluar els impactes medi ambientals basats en la fase anterior, dintre de les hipòtesis plantejades en la fase de la definició d'objectiu i abast. En aquesta fase els resultats del inventari són assignats a diferents categories ambientals, basades en els impactes ambientals. L'avaluació de l'impacte ambiental en LCA en general consisteix en els següents elements:

- Selecció i definició de les categories d'impacte: identificació de les categories d'impacte ambientals rellevants (ex. escalfament global, acidificació).
- Classificació: assignació dels resultats del LCI a les categories ambientals (ex. Classificació d'emissions CO₂ dintre de l'escalfament global).
- Caracterització: modelar els impactes de LCI en categories d'impacte utilitzant models científics de conversió de factors. (ex. Modelar l'impacte potencial del CO₂ i el CH₄ en l'escalfament global).



- Normalització: Expressar impacte potencial de manera que sigui comparable (ex. Comparar l'escalfament global del CO₂ i el CH₄ per les dues opcions).
- Agrupació: classificar els indicadors (ex. Indicators de proximitat: local, regional i global).
- Ponderació: emfatitzar els impactes potencials més importants.
- Avaluació de LCIA: millorar la comprensió dels resultats de LCIA.

Cal remarcar que segons la ISO només els 3 primers passos i l'últim són obligatoris per la confecció de LCIA. Els altres passos són opcionals depenent de l'objectiu i l'abast [14].

7.1.4. Interpretació del cicle de vida

La interpretació del cicle de vida es una tècnica sistemàtica per identificar, quantificar, comprovar, i avaluar la informació dels resultats extrets de LCI i del LCIA, i comunicar-los de manera efectiva. Els passos per a seguir en aquesta darrera fase són:

- Identificació dels problemes més significatius del LCI i LCIA
- Avaluació o consideració de la integritat, sensibilitat i coherència.
- Conclusions, recomanacions [14].

8. Mètodes experimentals per determinar la sostenibilitat

En diferents comissions a Brussel·les hi ha hagut i segueix existint un debat en torn a com definir i mesurar el contingut de base biològica dels materials i productes d'aquesta base. Una de les definicions proposades de base biològica es deriva de la biomassa, que és fàcil de comprendre. Però què significa? El total de la biomassa de la planta que s'utilitza? I amb tot això no sols els àtoms de carboni, sinó també l'oxigen, hidrogen... que estan presents en la bio-molècula? O només s'ha de considerar el carboni? La resposta a aquestes preguntes depèn enterament del tipus de mètode aplicat. En aquest treball s'explicaran breument alguns dels mètodes proposats per tal de fer aquesta mesura.

8.1. Mètode estandarditzat de ASTM-D6866

Una de les possibilitats per tal de mesurar la quantitat de base biològica en un producte és seguir el mètode d'Estats Units l'ASTM-D6866. Aquest mètode és utilitzat com un mètode estàndard per la determinació de el contingut de base biològica de una mostra sòlida, líquida o gasosa. Aquest mesura el percentatge de carboni procedent de fonts renovables en el material o producte identificat per mitja del mètode del C^{12}/C^{14} . Cal remarcar, que només el carboni biogènic, és a dir, el contingut de biomassa capturat per fotosíntesi compta com a biomassa i que altres parts constituents del producte no són incloses, per altra banda també s'ha de remarcar que només mesura la quantitat de carboni de procedència renovable no la biodegradació que pugui tenir el producte.

El contingut biomassa es diferencia de altres materials com els petrolis d'origen fòssil en que no contenen C^{14} . Donat que la quantitat de carboni 14 en la biomassa es coneguda, un percentatge de carboni de fonts renovables es pot calcular fàcilment del total de carboni present en el producte. Així doncs, el mètode de ASTM D-6866 distingeix el carboni resultant de la massa biològica contemporània del derivat de recursos fòssils.

L'aplicació del mètode ASTM-D6866 per determinar el contingut de massa biològica es basa en el mateix concepte que la datació per radiocarboni, però sense la utilització d'equacions per determinar l'edat. Es realitza mitjançant la derivació d'una proporció de quantitat de radiocarboni (C^{14}) en una mostra a la d'un estàndard de referència moderna. Aquesta



proporció és calculada com a un percentatge amb les unitats de “pMC” (percentatge de carboni modern). En conseqüència si el material a analitzar és una mescla entre el carboni actual (radiocarboni) i el carboni d'origen fòssil (que no conté radiocarboni) aleshores la proporció obtinguda i mesurada en pMC es correspon directament a la quantitat de biomassa derivada del carboni en la mostra analitzada.

El contingut de base biològica d'un material s'expressa com un valor relatiu de tant per cent de carboni orgànic procedent de fonts renovables total al total de carboni orgànic. El resultat final s'ha de calcular multiplicant el valor de pMC mitjà per el material per 0,95 El valor final es cita com el resultat mig de la base biològica i assumeix tots els components dins del material analitzat viuen en l'actualitat o per contra són d'origen fòssil [15].

8.2. Mètode del Comitè Europeu de Normalització: CEN/TS 16137:2011

El mètode CEN/TS 16137:2011 és aplicable a monòmers, polímers, materials plàstics i biocomposites. De la mateixa manera que el mètode estandarditzat de ASTM-D6866 aquest mètode també es basa en l'anàlisi del carboni 14.

Aquest mètode analític va ser desenvolupat per el Comitè Europeu de normalització més específicament per el comitè tècnic de plàstics. Aquesta especificació tècnica proporciona mètodes de prova i de referència de càlcul per la determinació del contingut de carboni de base biològica dels plàstics i altres polímers que contenen carboni orgànic. Es basa en els mètodes de carboni 14 descrits en la norma EN 15440 i en l'ASTM-D6866.

Des de el punt de vista del mètode del CEN/TS 16137, el contingut de carboni de base biològica d'un material és la quantitat de carboni d'una mostra que és d'origen recent com demostra el contingut de isòtops del carboni 14. Aquest mètode especifica tres mètodes de prova i expressa el contingut de carboni de base biològica com:

- Una fracció de massa de la mostra
- Una fracció de contingut total de carboni
- Una fracció del contingut total de carboni orgànic [16]

8.3. 1.3. Mètode del Comitè Europeu de Normalització: CEN/TS 16295

El mètode analític CEN/TS 16295 és aplicable als polímers i als productes de plàstics semielaborats o acabats. Aquesta especificació tècnica europea es basa com el en el cas de les dues anteriors en l'anàlisi del carboni 14.

Aquest mètode va ser desenvolupat com el explicat anteriorment per el Comitè Europeu de Normalització, més específicament pel Comitè tècnic de plàstics. Aquesta especificació tècnica proporciona els requisits per la declaració del contingut de base biològica de carboni dels polímers, materials plàstics o de productes de plàstic semi-acabats o acabats del tot incloent materials compostos.

D'acord amb aquesta especificació tècnica el contingut de carboni de base biològica d'un material polimèric o plàstic es determinarà d'acord amb el mètode basat abans, sempre que el contingut de carboni orgànic total mínim sigui d'un 5%.

Tanmateix aquest anàlisi no declara el contingut de biomassa expressat com un tant per cent de massa total d'un material. En la present especificació tècnica, el contingut de base biològica d'un polímers es expressat com una fracció del contingut total de carboni orgànic [17].



9. Els bio-plàstics

Els avanços en les gasolines i polímers basats en petroli ha beneficiat a la societat en innumbrables camps. Els plàstics basats en el petroli són resistents, perduren i poden ser d'un sol ús depenen de la composició i l'aplicació. Tanmateix, els recursos petrolers són finits, i el preu d'aquests cada vegada puja més. A més a més, s'han de sumar els problemes medi ambientals causats per aquests. En conseqüència és necessària la recerca de noves maneres que assegurin la sostenibilitat del planeta. Els biomaterials renovables que poden ser utilitzats per produir bioenergia i bioproductes són possibles alternatives per els productes basats en el petroli.

Els materials basats en plantes han estat tradicionalment utilitzats com aliments per la societat, no obstant, aquets materials també es poden utilitzar per donar lloc a polímers i en conseqüència plàstics els anomenats bio-plàstics.

Els bio-plàstics no són sols un sol material, els bio-plàstics comprenen tota una família de materials que difereixen en propietats i aplicacions. Segons l'organisme "European Bioplastics" un material plàstic és definit com a bio-plàstic si la matèria prima és de base biològica, biodegradable o les dues.

El terme base biològica significa que el material o producte ha d'estar derivat total o parcialment de biomassa (plantes). La biomassa és utilitzada pels bio-plàstics sol ser cel·lulosa, midó, fècula...

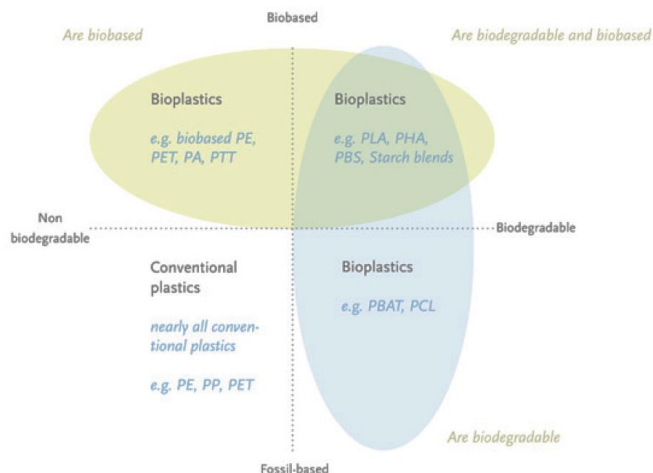
La biodegradació és un procés químic en el qual els micro-organismes presents en l'ambient converteixen els materials en substàncies naturals com aigua, diòxid de carboni i compostatge. Els processos de biodegradació depenen de les condicions ambientals, del material i l'aplicació. La propietat de biodegradació no depèn de la matèria prima, tot i així està en certa manera lligada a l'estructura química.

En la il·lustració 8-1 es mostra com està dividida la família de bio-plàstics. Els diferents grups que es poden trobar de bio-plàstics són:

- Plàstics amb matèria primera de base biològica però no biodegradables.
- Plàstics amb matèria primera de base biològica i biodegradables.



- Plàstics amb matèria primera convencional però biodegradables.



Il·lustració 9-1. Tipus de plàstics[18]

Aquest treball es centrarà en el primer tipus de bio-plàstics: plàstics amb matèria prima de base biològica però no biodegradables i també en el segon, és a dir, plàstics amb base biològica i biodegradables.

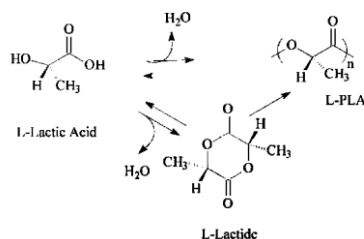
En el primer tipus de bio-plàstics i trobem les poliamides, els polièsters, els poliuretans... La aplicació més comú d'aquest tipus de polímers és la tèxtil. En el segon tipus de bio-plàstics s'inclouen les mescles de midó fetes amb midó modificat termo-plàsticament, les de l'àcid succínic, els derivats dels àcids grassos i altres polímers biodegradables com l'àcid polilàctic (PLA), els polihidroxicanoats (PHA)... Al contrari de la cel·lulosa aquests materials han estat presents a la indústria sols durant aquets últims anys i actualment són focus d'atenció donat a la base renovable.

Aquest treball tractarà els bio-plàstics següents: l'àcid polilàctic (PLA), les poliamides de base biològica, els polihidroxicanoats (PHA) i polímers de mescles de midó.

9.1. Àcid polilàctic (PLA)

L'àcid polilàctic és un termoplàstic biodegradable derivat del àcid làctic de el blat, el sucre o la llet. PLA és l'únic polímer que té un comportament molt similar al PET, però també actua de manera semblant al polipropilè (PP). El PLA és un dels polímers amb una ampla gama d'aplicacions industrials degut a les seves propietats.

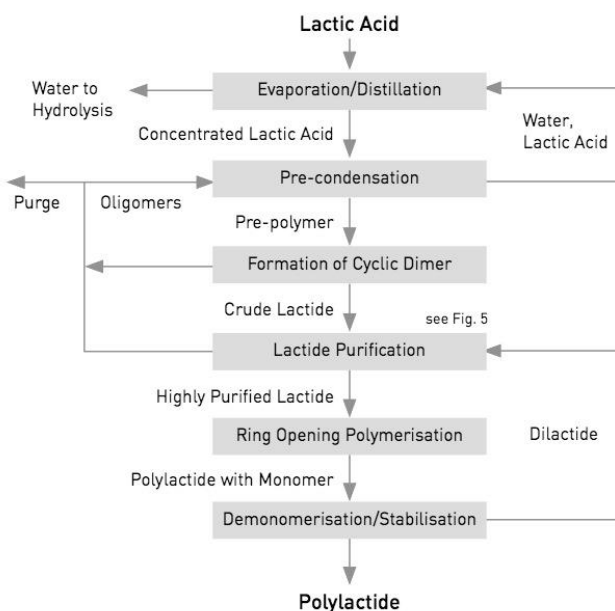
El PLA es pot obtenir mitjançant dos mecanismes: una condensació directa del àcid làctic i per una polimerització d'anell obert del dímer cíclic de lactat (il·lustració).



Il·lustració 9-2. mecanismes d'obtenció del PLA[19]

Degut a que la ruta de condensació directa és una reacció d'equilibri, dificulta l'extracció de traces en l'aigua en les últimes etapes de la polimerització i conseqüentment limita el pes molecular que es pot aconseguir. Per aquesta raó la via més utilitzada alhora de obtenir el PLA és la polimerització d'anell obert.

La ruta o via d'anell obert és la que dona la major proporció de PLA. En la figura que es mostra a continuació es pot veure els diferents passos que confereixen la via d'anell obert (Il·lustració 8-3).



Il·lustració 9-3. Passos de la via d'anell obert [19]

La degradació d'aquest polímer es dona lloc en dos passos. Durant els primeres fases de degradació la cadena molecular del polímer s'hidrolitza. Per després, gràcies a l'ajuda dels



microorganismes presents en l'ambient s'acaba transformant en aigua, CO₂ i terra.

9.2. Poliamides de base biològica

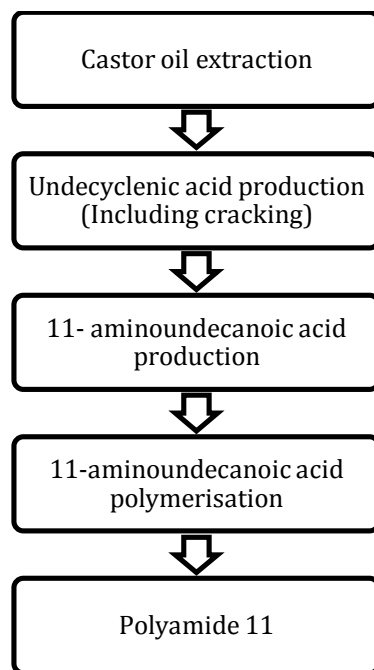
Les poliamides són bàsicament en la majoria dels casos termoplàstics cristal·lins que es caracteritzen per la combinació de grups de metilè CH₂ i grups amida -NH-CO- en la seva cadena. Les poliamides poden ser classificades en 2 grups: AB-poliamides que consisteixen en una sola unitat bàsica o AA/BB- poliamides caracteritzades per dos unitats bàsiques. Les bio-poliamides són rígides i duradores de fonts naturals però no biodegradables.

Les poliamides amb base biològica o parcialment biològica es poden produir utilitzant diferents processos:

- Policondensació de les diamides i els àcid dicarboxílics amb l'eliminació d'aigua.
- La policondensació dels àcids amino carboxílics com monòmers bifuncionals.
- La polimerització d'anell obert del la ϵ -Caprolactan (C₆H₁₁NO).

En el primer cas l'àcid dicarboxílic prové de recursos renovables com l'àcid sebàcic (oli de ricí). Mentre que la diamina s'obté de la lisina que s'extreu de de la fermentació de la glucosa.

Les poliamides que tractarà aquest treball són: la poliamida PA11, la poliamida PA 610 i la poliamida PA1010. La PA11 és una poliamida completament de base biològica produïda a partir del monòmer àcid 11-aminoundecanoic basat en l'oli de ricí (Il·lustració 8-4). Es molt utilitzada en aplicacions on es requereixin propietats de resistència. La PA 610 és pot obtenir a partir d'una reacció de policondensació del hexametendiamida amb àcid sebàcic provinent de l'oli de ricí. Per tant, la PA 610 és parcialment de base biodegradable, presenta gran resistència a impactes en baixes temperatures, també és resistent a l'exposició ambiental i molt estable. Per últim la PA 1010 està feta de decametendiamida més àcid sebàcic extrets els dos de l'oli de ricí. Per tant, és una poliamida totalment de base biològica. Aquesta és apta per components reforçats amb fibra de vidre.



II-lustració 9-4. Producció de la poliamida 11 [20]

9.3. Polihidroxicanoats (PHA)

Els polihidroxicanoats (PHA) són uns bio-polièsters naturals, termoplàstics i alifàtics. Aquest polímer és biodegradable, de base natural i apte pel compostatge. En termes de producció, els PHA difereixen en poc dels plàstics convencionals així que la tecnologia utilitzada per els plàstics amb base petroquímica és apta per la producció de PHA. L'espectre del seu potencial en les aplicacions industrials inclou des de l'empaquetatge fins a material de gran qualitat.

De tots els bio-plàstics són els únics que són produïts enterament per microorganismes. Els PHA són sintetitzats per bacteries. Existeixen com a homopolímers i com a copolímers de diferents àcids hidroxicanoics. Gràcies al gran nombre de monòmers capaços de produir PHA, a les possibilitats en les variacions en la vinculació dels monòmers al polímer, i a les variacions en la longitud de la cadena existeix la possibilitat de produir mesclades de diferents PHA introduint, a més a més, addicionalment modificacions físiques i químiques en l'esquelet del polímer és casi inesgotable i ens porta una gran família de polímers.

En un principi, les diferents maneres de produir el PHA són:

- Fermentació bacteriana
- Síntesi de plantes genèticament modificades

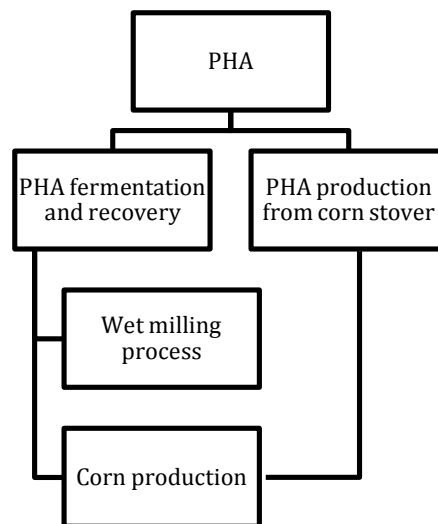


- Catàlisi enzimàtica en sistemes de cèl·lula lliure

Tanmateix, els dos últims mètodes són industrialment irrellevants i a escala industrial és molt més important el mètode de producció de fermentació. Aquest mètode consisteix en que diversos microorganismes es poden utilitzar per tal de produir PHA. La elecció dels microorganismes per l'ús industrial depèn en l'estabilitat i seguretat biològica d'ells mateixos. Existeixen dos tipus de producció: la síntesi continua i la discontinua depenen del tipus de bateries utilitzades.

Pel que fa la síntesi continua en la primera etapa es produeix una inoculació on es multiplica la producció de producció de microorganismes i paral·lelament es produeix una síntesi continua de PHA. Seguidament es procedeix a l'extracció o aïllament del biopolímer a la vegada que es continua produint més polímer, es separa de la biomassa i es purifica i es produeix a la granulació. En la síntesi discontinua es produeix la inoculació on sols es multiplica la producció de microorganismes, després es produeix la síntesi de PHA sota condicions de fermentació alterades a continuació s'aïlla o s'extreu el polímer es separa i purifica i en el pas final es procedeix a la granulació.

En la figura que es mostra a continuació es presenta un diagrama de flux en el que es pot veure les diferents etapes de producció de el PHA (II-lustració 8-5).

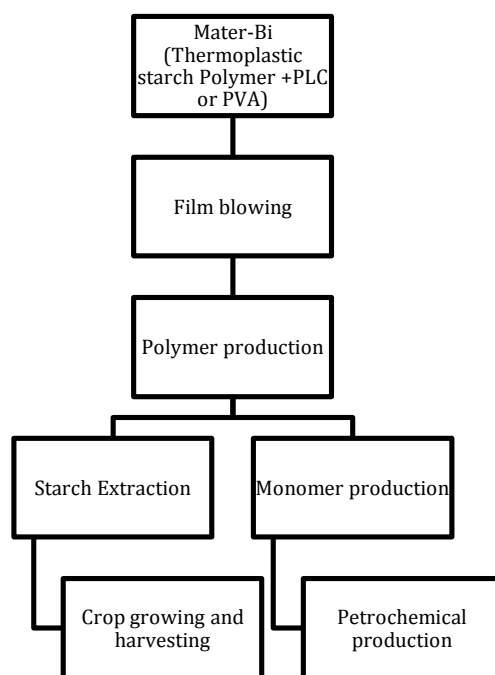


II-lustració 9-5. Etapes de producció del PHA [21]

9.4. Polimers de mescles de midó

Les mescles de polímers obtingudes mitjançant les tecnologies en el camp del midó, la cel·lulosa, olis vegetals i les combinacions donen lloc a mescles bio-polimèriques de base parcialment biològica i biodegradables. Les propietats d'aquestes mescles polimèriques tot i que depenen de cada tipus de mescla es caracteritzen totes per tenir gran resistència, d'aquesta manera les aplicacions principals en la indústria són: emmagatzematge, agricultura, higiene personal.

La producció de la mescla de polímer que s'ha estudiat té el nom comercial de Mater-Bi®. En la figura mostrada a continuació és pot veure el diagrama de flux corresponent a la producció (il·lustració 8-6).



Il·lustració 9-6. Producció de Mater-Bi® [22]

9.5. Polietilè de base biològica (Bio-PE)

El polietilè de base biològica es produeix mitjançant el bio-etanol i aquest s'elabora amb la canya de sucre. L'etanol es converteix en etilè per mitjà d'un procés de deshidratació. El polietilè de base biològica també es pot derivar a partir de remolatxa de sucre o del midó a partir del cultiu del panís, del blat o altres cereals. L'aparició del polietilè de base biològica no és un nou fenomen en el mercat, i amb la pujada dels preus del petroli i la preocupació pel



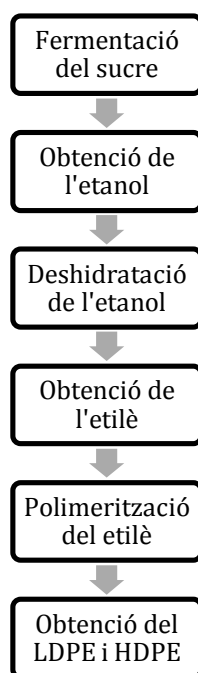
medi ambient aquestes tècniques han tornat ha ser un gran atractiu per l'indústria.

Les propietats químiques, físiques i mecàniques de polietilè de base biològica són exactament les mateixes que el polietilè de base de petroli. El polietilè de base biològica es adequat pel reciclat mecànic degut a les seves propietats termoplàstiques. Tant el polietilè de base de petroli com el de base biològica no són biodegradables.

La producció de polietilè es produeix mitjançant dos passos:

- La fermentació del sucre en etanol.
- Deshidratació del etanol per l'obtenció de l'etilè.
- Polimerització de l'etilè a polietilè de baixa i alta densitat.

En la figura que es mostra a continuació es presenta un diagrama de flux en el que es pot veure les diferents etapes de producció de el Bio-PE (II·lustració 8-7).



II·lustració 9-7. Etapes de producció del Bio-PE [23]

10. Fonts bibliogràfiques i bases de dades

En aquest treball s'ha realitzat principalment recerca de dades bibliogràfiques per a confecció de la base de dades. Per fer la ja anomenada recerca s'han utilitzat diverses fonts i bases de dades per tal trobar els valors dels diferents indicadors.

Bases de dades:

- Science direct
- Google scholar



11. Resultats

11.1. Plàstic 1: PLA

11.1.1. Fonts trobades

Per la recollida de dades d'aquest bio-plàstic s'han utilitzat diverses fonts. Ens les quals s'inclouen diversos estudis comparatius entre diferents tipus de plàstics així com també perfils ecològics. En qualsevol dels casos el mètode utilitzat és el mètode de l'anàlisi del cicle de vida.

Per tal de comprendre la base de dades de manera correcta i obtenir una interpretació correcta de les xifres s'hauran d'explicar els sistema escollit, així com també els límits d'aquest.

11.1.1.1. Objectiu, abast i unitat funcional

Cal primer identificar l'objectiu principal i l'abast d'aquest anàlisi així com també la unitat funcional. L'objectiu del estudi és establir l'impacte ambiental produït entre el PLA. L'abast del estudi compren des de l'extracció de la matèria primera fins el procés de producció de la resina deixant de banda qualsevol transformació de la resina i el consum i de la disposició final del producte. S'ha decidit deixar de banda aquestes tres fases ja que són similars en tots els plàstics, ja siguin convencionals o naturals. Per últim, esmentar que la unitat funcional escollida és 1 kg de resina de PLA.

11.1.1.2. Mètodes

Es va utilitzar un conjunt de normes internacionals de l'Organització Internacional de Estandardització (ISO) i de la ASTM Internacional com a directrius per l'enfocament sistemàtic y la realització del estudi. Es va definir el marc d'estudi d'acord amb les directrius de la ISO 14040. La definició d'objectiu i abast del problema i l'anàlisi del inventari, LCA i la interpretació d'aquest es va portar a terme d'acord amb les recomanacions de la mateixa norma ISO. La ISO 14049 va ser utilitzada per l'establiment de les entrades i les sortides dels processos unitaris i dels límits del sistema. L'ASTM 7075 va ser consultada per seguir les normes dels països.

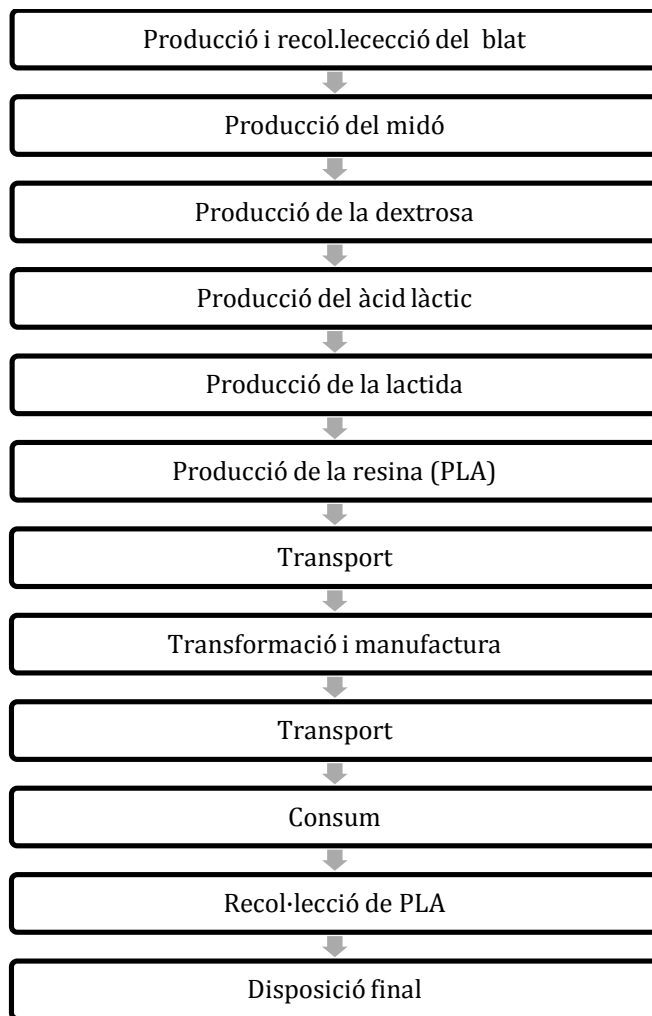


11.1.1.3. Límits del sistema

En les figures mostrades a continuació (Il·lustració 10-1 i 10-2) es mostra el diagrama de flux del cicle del PLA (il·lustració 10-1). Així com també les sortides i entrades del sistema mitjançant la il·lustració 10-2 d'aquesta manera permet veure quins són els límits del sistema.

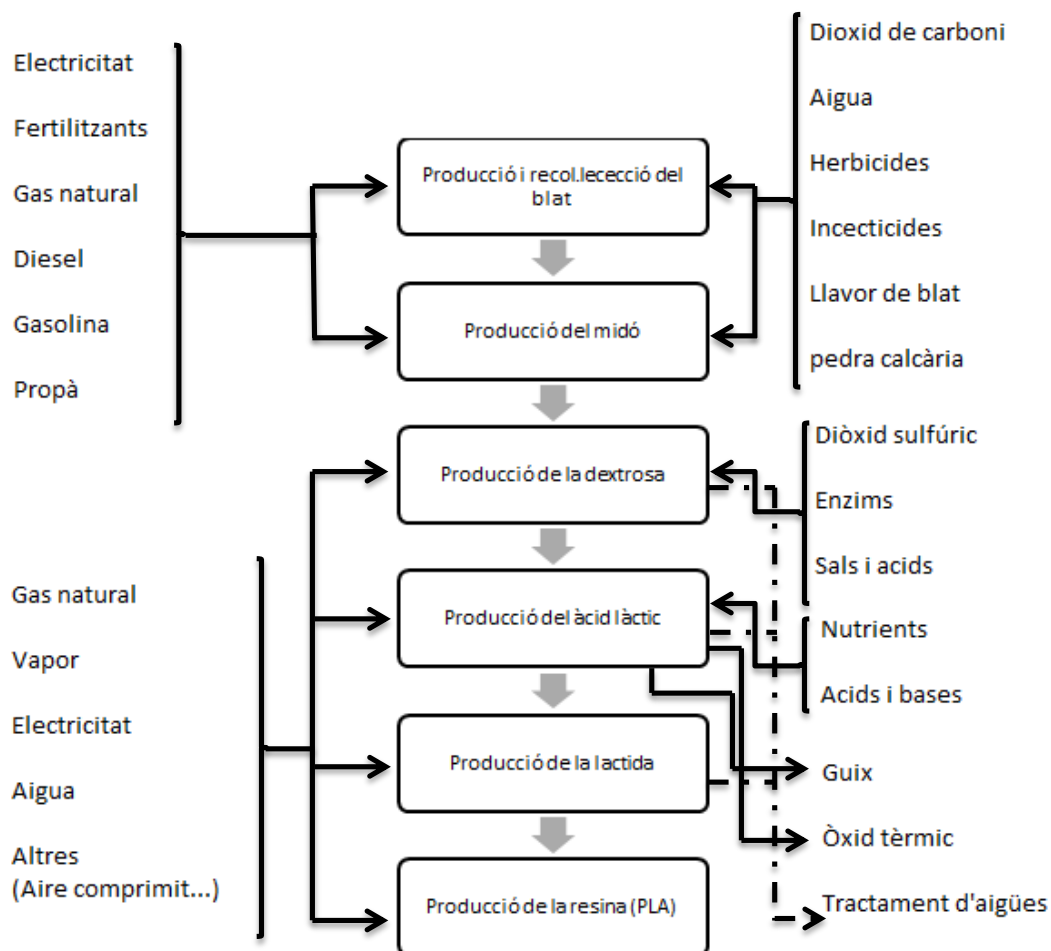
Pel PLA, el cicle de vida comença en el cultiu de blat i la seva corresponent recollida. El blat recollit s'envia a un molí de blat humit on es separa el midó del blat i es converteix en dextrosa. La dextrosa obtinguda es transforma en àcid làctic que, a través de la producció de lactida es polimeritza a PLA.

A partir d'aquesta fase es troba la manufactura i el muntatge així com també la utilització i servei. Aquestes dues fases queden fora dels límits del sistema donat que es considera, que els processos de manufactura i o utilització són similars en tots el plàstics (bio-plàstics i plàstics convencionals). De la mateixa manera passa amb les dues últimes fases. La primera que és el retirament i la recuperació que bé es reutilitza o es recol·lecten per la disposició a abocadors o es reconverteix a PLA. I la última fase, el tractament final on bé es produeix una biodegradació en un abocador, un bio-reactor anaeròbic o en un centre de compostatge.



Il·lustració 11-1. Diagrama de flux del PLA [24]





Il·lustració 11-2. Sistema d'estudi pel PLA [25]

11.1.1.4. Especificacions de les dades

11.1.1.4.1 Primera matèria

La producció d'àcid polilàctic Ingeo® és abastida per l'empresa Cargill. Les principals fonts de blat d'aquesta són 26 ciutats en les fronteres de Nebraska i Iowa. De la mateixa manera passa amb el moli de blat humit per la producció de dextrosa proporcionat per NatureWorks a Cargill. De igual forma, les dades incloses en el cultiu i el conreu del blat va ser extretes de la base de dades de la consultoria Boustead.

11.1.1.4.2 Dades elèctriques

Les dades elèctriques van ser obtingudes de la base de dades Boustead i és vàlid pels

estats de: Iowa, Minnesota, Montana, Dakota del Nord i Dakota del sud.

11.1.1.4.3 Processos químics i combustibles fòssils

Les dades per el principals processos químics va ser obtingudes de la base de dades Ecoinvent i les dades corresponents a la producció de l'àcid làctic, la lactina i el polilàctic va ser extretes de la base de dades de la consultoria Boustead. Per altra banda, les dades pels combustibles fòssils (petroli, fuels, gas i carbó) i altres productes químics utilitzats en menor mesura van ser extretes de la base de dades Boustead.

11.1.1.4.4 Producció de resines

Les dades corresponents a la producció de la resina del PLA no estaven disponibles en bases de dades o software, ja que les empreses que comercialitzen PLA són poques. Als Estats Units el PLA es fabricat per NaturWorks™ PLA, Blair, Nebraska. Les dades del inventari per el PLA van ser preses de la literatura. Les dades inclouen les emissions durant la producció de blat, la de fertilitzants, herbicides, insecticides, la electricitat i els combustibles utilitzats durant la collita i el cultiu del blat. També inclou dades pel transport del blat a un molí de blat humit. L'ús dels tractors i altres equips utilitzats durant la collita que varen resultar ser insignificants respecte les emissions. Les dades corresponents a la producció de productes químics, enzims, aigua utilitzada i electricitat utilitzada pel refredament i el procés han estat incloses.

11.1.2. Indicadors seleccionats

Els indicadors seleccionats per a fer la base de dades d'aquest polímer són els que es mostren en la taula que apareix a continuació (Taula 10-1).



Taula 11-1. Indicadors seleccionats pel PLA

Sostenibilitat	Escalfament global
	Petjada parcial: forestal
Impacte	Potencial Acidificació
	Potencial d'esgotament de la capa d'ozó
	Potencial eutrofització
	Efectes respiratoris de components orgànics
	Efectes respiratoris de components inorgànics
Sostenibilitat i impacte	Eco-toxicitat aquàtica
	Consum d'aigua
	Consum d'energia total
	NREU
	NREU

11.1.3. Dades

En aquest apartat es pot veure els diferents valors que prenen els indicadors quan es tracta del plàstic PLA. En la taula mostrada a continuació (Taula 10-2) s'observa la mitja dels valors trobats, el màxim, el mínim, i els paràmetres estadístics de la variància i la desviació estàndard.

Taula 11-2. Dades pel plàstic PLA.

		Mitja ¹	Màxim	Mínim	Variància	desviació estàndard	Unitats
Sostenibilitat	Escalfament global	3,88	9,84	0,50	17,88	5,18	kg CO2
	Petjada aparent: petjada de cultius	1,32E-06	2,00E-06	6,39E-07	4,63E-13	9,62E-07	ha
Impacte	Potencial d'acidificació	0,103	0,18	0,021	6,67E-03	0,12	Kg SO2
	Potencial d'eutrofització	0,003	5,00E-03	8,89E-04	4,22E-06	2,91E-03	kg PO4
	Potencial d'esgotament d'ozó	4,67E-07	4,67E-07	4,67E-07			kg CFC-11
	Efectes respiratoris orgànics	0,021	0,021	0,021			kg C2H4
	Efectes respiratoris inorgànics	0,021	0,021	0,021			kg PM 2.5
	Eco-toxicitat Aquàtica	419,55	419,55	419,55			kg DCB
Sostenibilitat i Impacte	Consum d'energia	161,56	330,75	67,84	14368,59	146,81	MJ
	NREU	79,06	164,44	30,545	3666,98	74,17	MJ
	REU	82,49	166,31	25,63	3661,93	74,11	MJ
	Consum d'H2O	0,049	0,05	0,049			m3

¹La Mitja s'ha extret de les fonts: 1. Erwin.T.H. Vink, Steve Davies, and Jeffrey J. Kolstad; *The eco-profile for corrent Ingeo® polylactide production*, Industrial Biotechnology, Vol. 6. Núm. 4, August 2010. 2. Santhosh Madival, Rafael Auras, Sher Paul Singh, Ramani Narayan; *Assessment of the environment profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology*, Journal of Cleaner Production, May 2009. 3. Gui-Quiang Chen, and Martin K. Patel; *Plastics derived from biological sources: Present and future: A technical and environment review*, Chemical Reviews, American Chemical Society, 2012.

11.1.4. Interpretació de les dades

En aquest apartat es comentarà els diferents indicadors, així com també les dispersions en les dades trobades i s'intentarà establir una relació entre la possible diferència de les dades entre les diferents fonts.

Gracies a les dades trobades la mitja de l'escalfament global està en 3.9 kg CO₂ per kg de PLA. El valor màxim de les dades és de 9.8 i el mínim és de 0.5. La dispersió és de 5.2. Tot i que la dispersió trobada no és petita tampoc és gaire gran respecte d'altres dispersions. La diferència que existeix en les dades es pot deure a la diferència en les fonts emprades i els diferents objectius d'aquests estudis. La Petjada aparent de terres de cultiu dona una mitja de 0.01 m² (1·10⁻⁶ ha) per kg de PLA. El valor màxim és de 0.02m² i el mínim de 0.006m². Per altra banda la mesura de dispersió és de 0.009. Tal com s'observa la mesura de dispersió és molt petita.

Pel que fa les dades corresponents als indicadors d'impacte ambiental de potencial d'esgotament d'ozó, efectes respiratoris orgànics i inorgànics i la eco-toxicitat aquàtica són valors únics extrets d'una sola font i per consegüent no s'ha pogut establir cap variància ni desviació estàndard. Tan mateix cal remarcar que els valors corresponents aquests indicadors són relativament baixos. Per altra banda tenim els potencials d'acidificació i d'eutrofització amb una mitja de 0.103 i 0.003 respectivament. El valor de la dispersió en el cas del potencial d'acidificació és de 0.1 i el d'eutrofització és de 0.003. Ambdues mesures de dispersió són petites i per tant demostren que entre les fonts existeix una certa tendència i coherència.

Per altra banda, es comentarà els valors dels impactes de sostenibilitat i d'impacte ambiental. L'indicador de consum d'energia és el valor que presenta una dispersió més elevada. Aquest indicador té una mitja de 161,6 però tanmateix la desviació estàndard és de 146.8. Cal remarcar també que, tant en l'indicador de NREU com REU els valors de desviació estàndard són extremadament elevats (74.2 i 74.1 respectivament). Aquestes mesures de dispersió dels tres indicadors donen en conseqüència una incoherència a les dades de tal forma que poden arribar a ser contradictòries. Per altra banda, el valor de l'indicador corresponent al consum d'aigua és únic i referenciat a una sola font.

Si aprofundim més, es tracta de la font: "*Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology*" la que fa que els resultats de les

mesures de dispersió tant de l'indicador de sostenibilitat (escalfament global) i els indicadors associats amb el consum d'energia siguin extremadament elevats. Aquest fet es pot deure a que les altres fonts emprades eren productors de PLA per contra d'aquesta font, que es tracta d'un estudi independent.



11.2. Plàstic 2: PHA

11.2.1. Fonts trobades

Per la recollecció de dades d'aquest bio-plàstic diverses utilitzat fonts. En les que es troben diversos estudis comparatius tècnics i mediambientals de diferents plàstics ja convencionals com de base ecològica. Totes les fonts consultades utilitzen el mètode d'anàlisi del cicle de vida des de les primeres.

Per tal de comprendre la base de dades de manera correcta i obtenir una interpretació acurada de les xifres s'hauran d'explicar els sistemes escollits per les fonts, així com també els límits dels sistemes.

11.2.1.1. Objectiu, abast i unitat funcional

L'objectiu principal d'aquest estudi és anticipar els impactes ambientals de la producció de PHA. Conseqüentment s'identificaran oportunitats per la prevenció de contaminants, reducció en la consumició de recursos i servirà com a guia ambiental per la millora. L'abast del estudi compren des de la primera matèria fins la producció de resina deixant de banda qualsevol transformació de la resina, la utilització i servei del producte i la disposició final d'aquest. Cal esmentar per últim que la unitat funcional d'aquest anàlisi és de 1 kg de PHA produït

11.2.1.2. Mètodes

Es va utilitzar un conjunt de normes internacionals de l'Organització Internacional de Estandardització (ISO) com a directrius per l'enfocament sistemàtic y la realització del estudi. Es va definir el marc d'estudi d'acord amb les directrius de la ISO 14040. La definició d'objectiu i abast del problema i l'anàlisi del inventari, LCA i la interpretació d'aquest es va portar a terme d'acord amb les recomanacions de la mateix norma ISO. La ISO 14049 va ser utilitzada per l'establiment de les entrades i les sortides dels processos unitaris i dels límits del sistema.

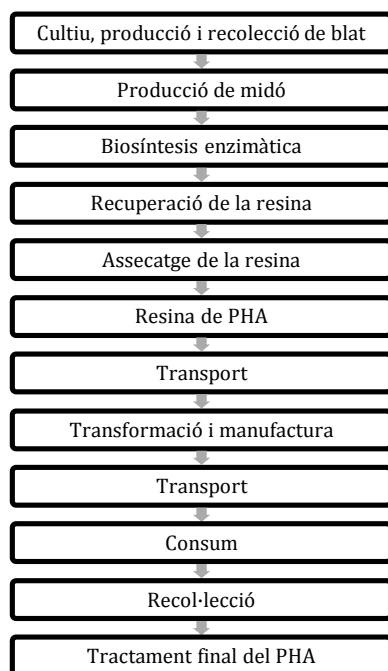
11.2.1.3. Límits del sistema

En la figura mostrada a continuació (Il·lustració 10-3 i 10-4) es mostra el diagrama de flux del cicle del PHA (Il·lustració 10-3). En la il·lustració 10-4 es mostra les entrades i sortides del sistema per tal establir els límits del sistema.

En primer lloc, el procés d'anàlisi comença des del cultiu i la producció del blat així com també de la seva recol·lecció. Una vegada el blat ja és recol·lectat és portat a un moli de blat humit on s'extreu el midó per la posterior producció de resina.

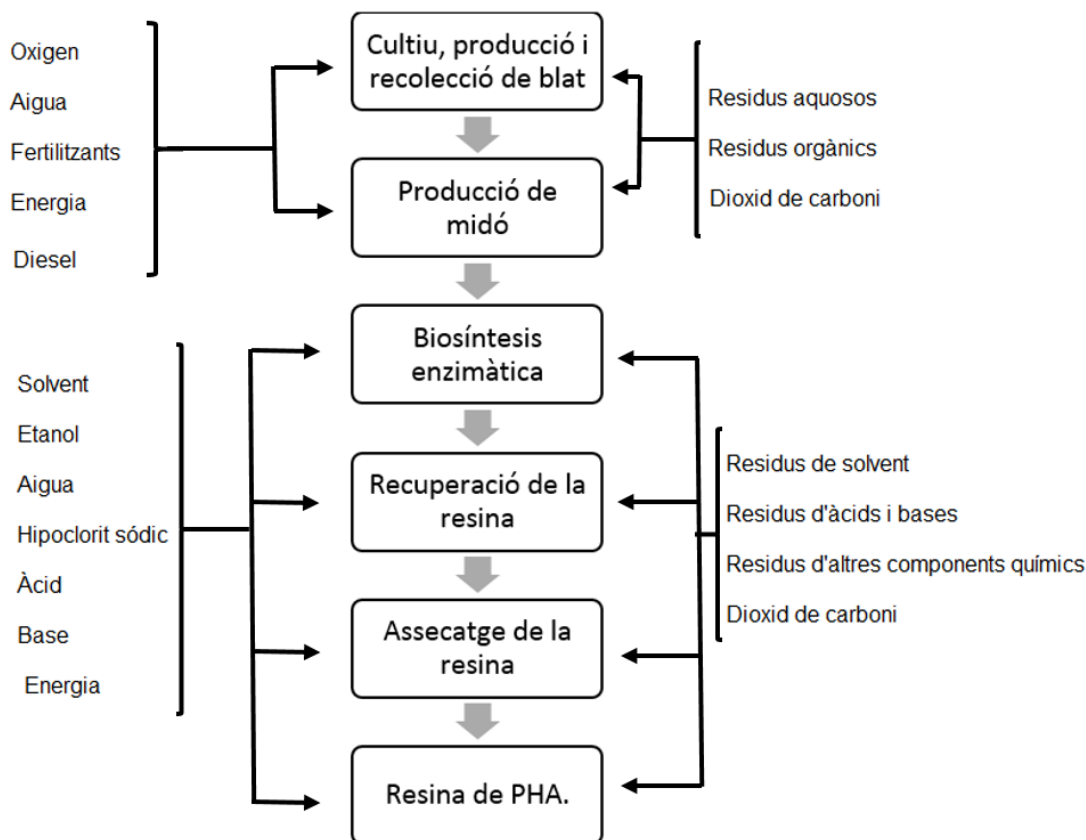
Un cop finalitzades les dues primeres fases per extreure el midó es passa a la biosíntesi per tal de produir resina de PHA. En aquesta fase es produeix un procés intern de recuperació i purificació de la resina de PHA. Per finalitzar, la fase que resta és la corresponent al assecatge en la qual la resina de PHA (usualment en grans) és assecada mitjançant diferents processos.

A partir d'aquesta fase es troba la manufactura i el muntatge així com també la utilització i servei. Aquestes dues fases queden fora dels límits del sistema donat que es considera, que els processos de manufactura i o utilització són similars en tots el plàstics (bio-plàstics i plàstics convencionals). De la mateixa manera passa amb les dues últimes fases. La primera que és el retirament i la recuperació que bé es reutilitza o es recol·lecten per la disposició a abocadors o es reconverteix a PHA. I la última fase, el tractament final on bé es produeix una biodegradació en un abocador, un bio-reactor anaeròbic o en un centre de compostatge.



II-lustració 11-3. Diagrama de cycle de vida del PHA





Il·lustració 11-4. Sistema d'estudi del PHA[26]

11.2.2. Indicadors seleccionats

Els indicadors seleccionats per a fer la base de dades d'aquest polímer són els que es mostren en la taula que apareix a continuació (Taula 10-3).

Taula 11-3. Indicadors seleccionats pel PHA

Sostenibilitat	Escalfament Global
Impacte	Potencial d'acidificació
	Carcinògens
	No carcinògens
	Efectes respiratoris
	Potencial d'eutrofització
	Potencial d'esgotament d'ozó
	Eco-toxicitat
	Smog fotoquímic
Sostenibilitat i Impacte	NREU

11.2.3. Dades

En aquest apartat es pot veure els diferents valors que prenen els indicadors quan es tracta del plàstic PHA. En la taula mostrada a continuació (Taula 10-4) s'observa la mitja dels valors trobats, el màxim, el mínim, i els paràmetres estadístics de la variància i la desviació estàndard.

Taula 11-4. Dades del plàstic PHA

		Mitja ¹	Màxim	Mínim	Variància	desviació estàndard	Unitats
Sostenibilitat	Escalfament global	315,32	940,06	1,7	195151,075	541,042	kg CO2
Impacte	Potencial d'acidificació	6,09	6,09	6,094			kg SO2
	Potencial d'eutrofització	7,19	7,19	7,195			kg PO4
	Potencial d'esgotament d'ozó	5,08E-04	5,08E-04	5,08E-04			kg CFC-11
	Smog fotoquímic	3,298	3,298	3,298			kg NOx
	Efectes respiratoris	0,409	0,409	0,409			kg PM2.5
	Eco-toxicitat	30,64	30,64	30,64			kg DCB
	Carcinògens	0,824	0,824	0,82			kg C2H3Cl
	No carcinògens	620,98	620,98	620,98			kg C2H3Cl
Sostenibilitat i Impacte	NREU	75	110	40	1225	49,50	MJ

¹La mitja s'ha extret de les fonts: 1. Katherine H. Rostkowski, Craig S. Criddle, and Michael D. Lepech; *Cradle-to- Gate Life Cycle Assessment for a Cradle-to-Cradle Cycle: Biogas-to-Bioplastic (and back)*, Environmental Science & Technology, July 2012. 2. Gui-Qiang Chen, and Martin K. Patel; *Plastics derived from biological sources: Present and future: A technical and environment review*, *Chemical Reviews*, American Chemical Society, 2012.

11.2.4. Interpretació de les dades

En aquest apartat es comentarà els diferents indicadors, així com també les dispersions en les dades trobades i s'intentarà establir una relació entre la possible diferència de les dades entre les diferents fonts.

En primer lloc, es comentarà els indicadors corresponents a la sostenibilitat del PHA. En aquest cas el l'escalfament global té una mitja de 315.3. Ara bé, cal remarcar que la mesura de dispersió d'aquest indicador és molt elevada. La desviació estàndard es situa en els 541. Aquest valor és un indicador de la diferència existent entre les diferents fonts. L'altre indicador és el d'esgotament de recursos abiòtics, però en aquest només es disposa d'una única dada.

Pel que fa les dades corresponents als indicadors d'impacte ambiental de potencials d'acidificació i d'eutrofització, de potencial d'esgotament d'ozó, Smog fotoquímic, efectes respiratoris, la eco-toxicitat, carcinògens i no carcinògens són valors únics extrets d'una sola font i per consegüent no s'ha pogut establir cap variància ni desviació estàndard. Tan mateix cal remarcar que els valors corresponents a aquests indicadors són relativament baixos. Exceptuant els valors de l'eco-toxicitat i els no carcinògens valors que en aquests casos són de 30.6 i 620.9 respectivament.

Per altra banda, es comentarà els valors dels impactes de sostenibilitat i impacte ambiental. L'indicador de consum d'energia NREU tot i que no es tracta del valor que presenta una dispersió més elevada cal dir que no es pot negligir. Aquest indicador té una mitja de 75 però tanmateix la desviació estàndard és de 49.5. Aquesta mesura de dispersió deixa veure una certa incoherència a les dades de tal forma que poden arribar a ser contradictòries.

Si ens fixem amb les fonts trobades al només haver-ne dues no es pot saber quina de les dues fonts fa que les mesures de dispersió es disparin. En aquest cas cap de les dues fonts eren productors de PHA, per contra ambdues fonts tractaven d'estudis independents. Tanmateix cal dir que la font: "*Cradle-to-gate life cycle assessment for a cradle-to-gate cycle: biogàs-to-bioplàstic*" es tracta d'un procés on s'utilitza el metà del biogàs per tal de produir PHA. Aquest fet pot provocar diferències entre les diferents dades.

11.3. Plàstic 3: PA

11.3.1. Fonts trobades

Per la recollida de dades d'aquest bio-plàstic s'han utilitzat dos fonts. La primera es tracta d'un perfil ecològic de la poliamida 11 utilitzant el mètode de l'anàlisi del cicle de vida facilitat per una indústria dedicada a la producció de la PA 11. Per altra banda, l'altra font utilitzada és un anàlisi de cicle de vida on es comparen diferents tipus de poliamides de base totalment biològica o mescles; també facilitat per una indústria dedicada a la producció d'aquest plàstic.

Per tal de comprendre la base de dades de manera correcta i obtenir una interpretació correcta de les xifres s'hauran d'explicar els sistemes escollits per ambdues fonts, així com també els límits dels sistemes.

11.3.1.1. Poliamida 11: Rilsan®

11.3.1.1.1 Objectiu, abast i unitat funcional

Cal primer identificar quin era l'objectiu principal i l'abast d'aquest anàlisi així com també la unitat funcional. L'objectiu del estudi era establir els beneficis ambientals de la poliamida 11 (PA11) i comparar la seva actuació medi ambiental amb altres polímers. Donat que es tracta d'un perfil medi ambiental l'estudi tenia un abast des de les primeres matèries fins la producció de la poliamida, deixant fora de l'anàlisi la transformació del polímer, el consum o utilització i la disposició final. Per últim puntualitzar que la unitat funcional utilitzada pel perfil ambiental era un 1Kg de poliamida.

11.3.1.1.2 Mètodes

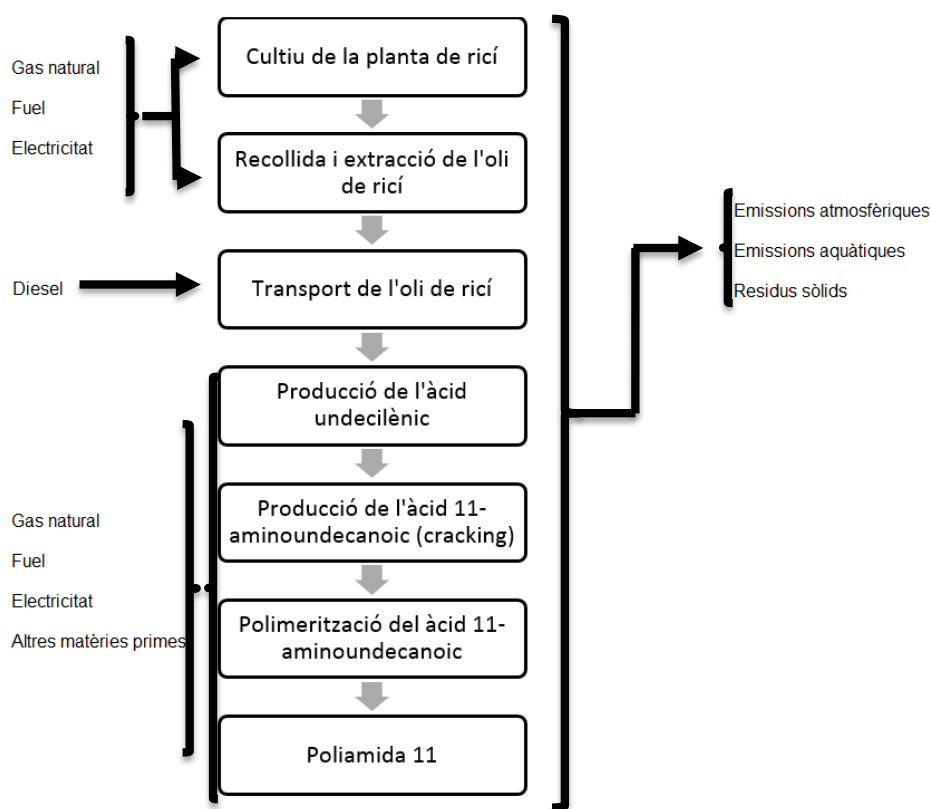
Es va utilitzar un conjunt de normes internacionals de l'Organització Internacional de Estandardització (ISO) com a directrius per l'enfocament sistemàtic y la realització del estudi. Es va definir el marc d'estudi d'acord amb les directrius de la ISO 14040. La definició d'objectiu i abast del problema i l'anàlisi del inventari, LCA i la interpretació d'aquest es va portar a terme d'acord amb les recomanacions de la mateixa norma ISO. La ISO 14049 va ser utilitzada per l'establiment de les entrades i les sortides dels processos unitaris i dels límits del sistema.

11.3.1.1.3 Límits del sistema



En la figura mostrada a continuació (Il·lustració 10-5) es mostra el diagrama de flux des de les primeres matèries fins a la producció de la poliamida. En el diagrama també es poden observar les diferents entrades i sortides del sistema. Per la PA11, el cicle de vida comença en el cultiu del ricí i la seva corresponent recollida i la transformació de la planta amb oli. Una vegada s'ha extret l'oli de la planta es transporta cap a la indústria.

En la fase següent es dona la producció del àcid undecilènic (mitjançant cracking) per després passar a la producció de l'àcid 11-aminoundecanoic i per últim sofreix una polimerització en a qual al final s'obté la poliamida 11.



Il·lustració 11-5. Diagrama de flux de les PA [27]

11.3.1.1.4 Especificacions de les dades

Com s'ha vist en l'apartat anterior la producció de la PA11 està dividida en etapes per tal de obtenir dades ambientals (impactes ambientals) de la major part de fases de producció.

11.3.1.2. Poliamida VESTAMID® Terra

11.3.1.2.1 Objectiu, abast i unitat funcional

Cal primer identificar quin és l'objectiu principal i l'abast d'aquest anàlisi així com també la unitat funcional. L'objectiu del estudi era la comparació des de un punt de vista ambiental de la producció de diferents poliamides:

- VESTAMID® Terra DS
- VESTAMID® Terra HS

Cal tanmateix explicar que en aquest projecte l'estudi es centrarà en les poliamides VESTAMID® Terra DS i VESTAMID® Terra HS. La VESTAMID® Terra DS és la poliamida 1010 (PA1010) i la VESTAMID® Terra HS és la poliamida 610 (PA610) ambdues poliamides ja explicades en apartats anteriors.

L'estudi tenia un abast des de les primeres matèries fins la producció de la poliamida, deixant fora de l'anàlisi la transformació del polímer, el consum o utilització i la disposició final. Per últim puntualitzar que la unitat funcional utilitzada pel perfil ambiental era un 1Kg de producte (resina).

11.3.1.2.2 Mètodes

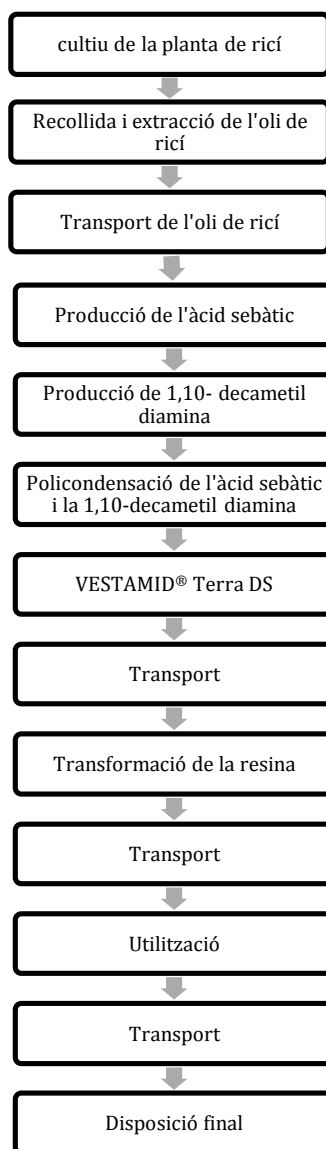
S'utilitza un conjunt de normes internacionals de l'Organització Internacional de Estandardització (ISO) com a directrius per l'enfocament sistemàtic y la realització del estudi. Es va definir el marc d'estudi d'acord amb les directrius de la ISO 14040. La definició d'objectiu i abast del problema i l'anàlisi del inventari, LCA i la interpretació d'aquest es va portar a terme d'acord amb les recomanacions de la mateix norma ISO. La ISO 14049 va ser utilitzada per l'establiment de les entrades i les sortides dels processos unitaris i dels límits del sistema. També es van utilitzar bases de dades com la GaBi Database (PE International, Stuttgart, Germany) i altre software de GaBi per tal de modelar LCA. Per últim es van agafar dades de l'any 2008 de l'empresa productora Evonik de VESTAMID® Terra.

11.3.1.2.3 Límits del sistema

En el cas d'aquest anàlisi de cicle de vida per VESTAMID® Terra no s'ha trobat cap diagrama de flux. Tanmateix, donat que en el cas de la VESTAMID® Terra DS s'extreu també de l'oli de ricí es pot un paral·lelisme amb el PA 11. La Il·lustració 10-6 mostra un diagrama de flux aproximat de la PA1010. En el cas de la PA610, s'ha de tenir present que



es tracta d'una mescla entre resina de base biològica i resina de fonts no renovables.



Il·lustració 11-6. Diagrama del cicle de vida de la PA

11.3.2. Indicadors seleccionats

Els indicadors seleccionats per a fer la base de dades d'aquest polímer són els que es mostren en la taula que apareix a continuació (Taula 10-5).

Taula 11-5. Indicadors seleccionats per la PA

Sostenibilitat	Escalfament global
	Esgotament de recursos abiòtics
Impacte	Potencial d'acidificació
	Potencial Esgotament de la capa d'ozó
	Potencial d'eutrofització
	Eco-toxicitat d'aigua dolça
	Eco-toxicitat marina
	Eco-toxicitat terrestre
	Toxicitat humana
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	
Sostenibilitat i impacte	Consum d'energia total



11.3.3. Dades

En aquest apartat es pot veure els diferents valors que prenen els indicadors quan es tracta del plàstic PA. En la taula mostrada a continuació (Taula 10-6) s'observa la mitja dels valors trobats de totes les poliamides i la mitja de les tres poliamides. Per altra banda també s'observa el màxim, el mínim, i els paràmetres estadístics de la variància i la desviació estàndard de les tres poliamides .

Taula 11-6. Dades pel plàstic PA

		VALORS			Mitja ¹	Màxim	Mínim	Variància	desviació estàndard	Unitats
		VESTAMID DS ¹	VESTAMID HS ¹	Rilsan ¹						
Sostenibilitat	Escalfament global	4	4,1	4,2	4,1	4,2	4	6,67E-03	0,1	kg CO2
	Esgotament de recursos abiótics	6,39E-02	5,66E-02		6,03E-02	6,39E-02	5,66E-02	1,33E-05	5,16E-03	kg Sb
Impacte	Potencial d'acidificació	0,0748	4,22E-02		5,85E-02	7,48E-02	4,22E-02	2,66E-04	2,31E-02	kg SO2
	Potencial d'eutrofització	8,48E-03	5,18E-03		6,83E-03	8,48E-03	5,18E-03	2,72E-06	2,33E-03	kg PO4
	Potencial d'esgotament d'ozó	2,58E-07	3,58E-07		3,08E-07	3,58E-07	2,58E-07	2,50E-15	7,07E-08	kg CFC-11
	Potencial de creació fotoquímica d'ozó	5,46E-03	3,56E-03		4,51E-03	5,46E-03	3,56E-03	9,03E-07	1,34E-03	kg Etè
	Eco-toxicitat Aquàtica	4030,03	1710,03		2870,03	4,03E+03	1,71E+03	1,35E+06	1640,49	kg DCB
	Eco-toxicitat en l'aigua dolça	3,04E-02	2,85E-02		2,95E-02	3,04E-02	0,029	9,22E-07	1,36E-03	kg DCB
	Eco-toxicitat marina	4030	1710		2870	4030	1710	1345600	1640,49	kg DCB
	Eco-toxicitat terrestre	1,32E-02	8,87E-03		1,10E-02	1,32E-02	8,87E-03	4,69E-06	3,06E-03	kg DCB
	Toxicitat humana	1,12	0,549		0,83	1,12	0,549	0,082	0,404	kg DCB
Sostenibilitat i Impacte	Consum d'energia	231	175	162	189,3	231	162	896,2	36,67	MJ
	NREU			111	111	111	111			MJ
	REU			51	51	51	51			MJ

¹Mitja s'ha extret de les fonts: 1. Benjamin Brehmer; *Life Cycle Assessment of biobased polyamides VESTAMID® Terra*, Evonik Industries AG, 2014. 2. Jean-François Decaux, Guillaume Lê, Bernard Pees; *Application of Eco-profile methodology to Polyamide 11*, Arkema CERDATO, France, January 2013



11.3.4. Interpretació de les dades

En aquest apartat es comentarà els diferents indicadors, així com també les dispersions en les dades trobades i s'intentarà establir una relació entre la possible diferència de les dades entre les diferents fonts.

Primerament, es començarà pels indicadors de sostenibilitat. Per una banda tenim l'escalfament global amb una mitja de 4.1 i una mesura de dispersió gairebé negligible, ja que la desviació estàndard està en 0.1. Cal dir que la PA Rilsan® és la que presenta el valor més elevat i el mínim resideix en la PA VESTAMID terra DS®. Pel que fa a l'esgotament de recursos abiòtics no es tenen dades del Rilsan® però sí de la PA VESTAMID®, on el màxim és de la DS amb 0.06 i una desviació estàndard molt petita.

En segon lloc es parlarà dels indicadors corresponents a l'impacte ambiental de les PA. En aquest apartat però s'ha de tenir en compte que no s'han trobat valors per la PA Rilsan®. Pel que fa al potencial d'acidificació i eutrofització, el potencial de creació fotoquímica d'ozó, i les eco-toxicitats aquàtiques, marines, d'aigua dolça, terrestre i humana la PA VESTAMID terra DS® és a la qual li corresponen els valors més elevats. Per contra en el potencial d'esgotament d'ozó és la PA VESTAMID terra HS® la que té el valor més gran. Comentar també el fet de que tot i que totes les mesures de dispersió dels indicadors d'impacte són molt petites i per tant no difereixen en les dades entre si; tant en la eco-toxicitat aquàtica com en la marina la dispersió és molt gran això podria ser degut algun procés intern en la producció de la PA VESTAMID terra DS®.

Seguidament, es comentarà els valors dels impactes de sostenibilitat i impacte ambiental. L'indicador de consum d'energia és el valor que presenta una dispersió més elevada del normal. Aquest indicador té una mitja de 189.3 però tanmateix la desviació estàndard és de 36.7. Aquest fet es pot explicar perquè tot i que els tres plàstics són PA cadascun d'ells té unes característiques determinades i difereixen en un cert grau per tant els processos de producció diferiran en certa mesura. Per altra banda, remarcar que és la PA Rilsan® la que té un menor consum d'energia i la PA VESTAMID terra DS® és la que té un consum més elevat. Pel que fa als indicadors NREU i REU només s'ha pogut extreure un valor de la PA Rilsan®.

Per últim s'ha de comentar el fet que per norma general, i exceptuant el cas de l'indicador del potencial d'esgotament d'ozó la PA més nociva pel medi ambient segons els paràmetres

escollits és la PA VESTAMID terra DS®. Aquesta PA és la poliamida 100% d'origen natural, per contra de la PA VESTAMID terra HS® que conté matèria prima d'origen fòssil.



11.4. Plàstic 4: Mater-Bi®

11.4.1. Fonts trobades

Per la recollida de dades d'aquest bio-plàstic s'han utilitzat diverses fonts. Ens les quals s'inclouen diversos estudis comparatius entre els diferents tipus de plàstics així com també perfils ecològics. En qualsevol dels casos el mètode utilitzat és el mètode de l'anàlisi del cicle de vida.

Per tal de comprendre la base de dades de manera correcta i obtenir una interpretació correcta de les xifres s'hauran d'explicar els sistema escollit, així com també els límits d'aquest.

11.4.1.1. Objectiu, abast i unitat funcional

Cal primer identificar quin és l'objectiu principal i l'abast d'aquesta declaració ambiental així com també la unitat funcional. L'objectiu del estudi era establir l'impacte ambiental produït per els polímers de mesclades de midó (Mater-Bi®) per tal fer comparatives posteriors amb altres plàstics i per la millora en l'optimització dels processos. L'abast de la declaració compren des de l'extracció de la matèria primera fins el procés de producció de la resina. Tanmateix, és negligeixen les fases de la creació del film seguit de consum i de la disposició final d'aquest. Per últim, esmentar que la unitat funcional escollida és 1kg de grams de Mater-Bi®.

11.4.1.2. Mètodes

Es va utilitzar un conjunt de normes internacionals de l'Organització Internacional de Estandardització (ISO) i de la ASTM Internacional com a directrius per l'enfocament sistemàtic y la realització del estudi. Es va definir el marc d'estudi d'acord amb les directrius de la ISO 14040. La definició d'objectiu i abast del problema i l'anàlisi del inventari, LCA i la interpretació d'aquest es va portar a terme d'acord amb les recomanacions de la mateix norma ISO. La ISO 14049 va ser utilitzada per l'establiment de les entrades i les sortides dels processos unitaris i dels límits del sistema. També es va tenir present la norma PRS I-2001:3 (requisits específics de referencia del producte per materials termoplàstics).

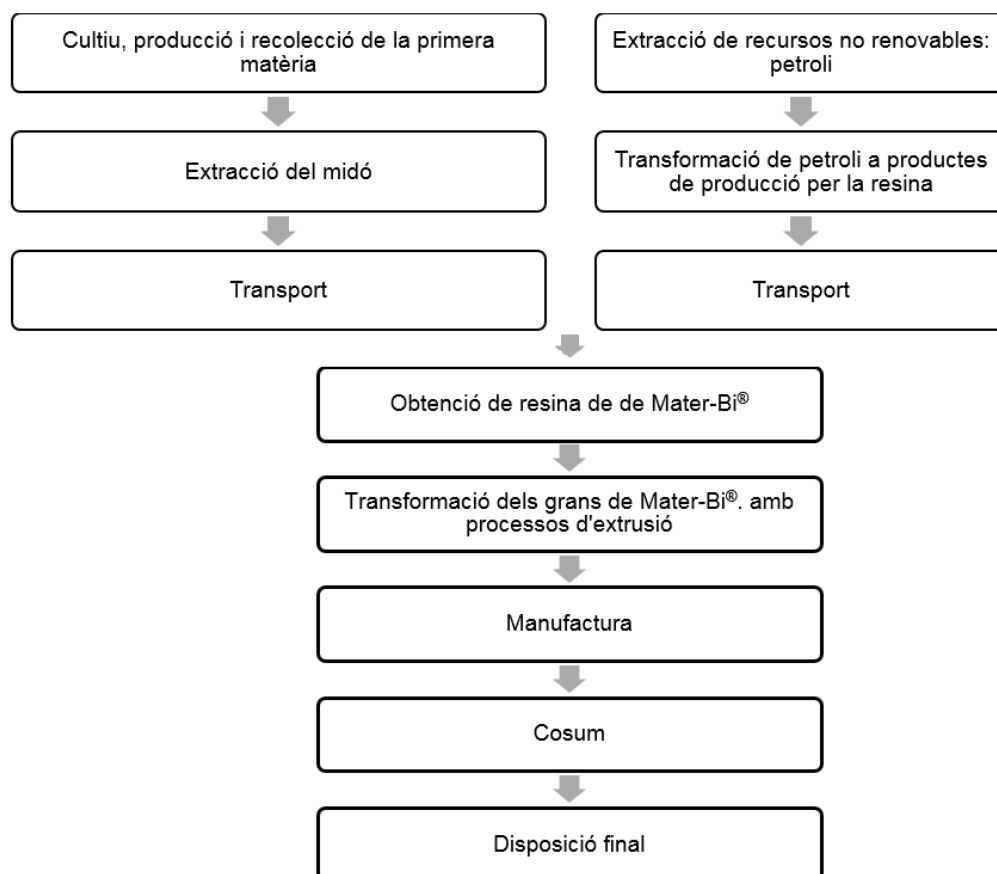
11.4.1.3. Límits del sistema

En la figura mostrada a continuació (Il·lustració 10-7 i 10-8) es mostra el diagrama de flux

del cicle del polímer Mater-Bi®. Així com també la Il·lustració 10-8 mostra les entrades i sortides del sistema per tal de delimitar-lo.

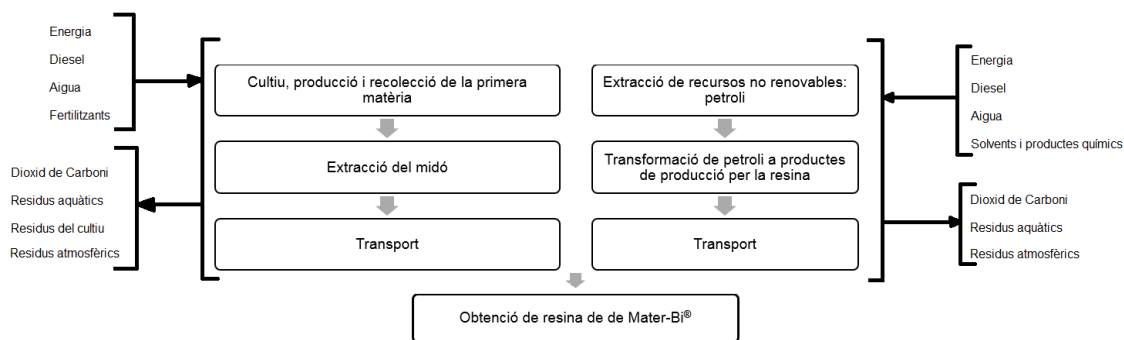
Per el Mater-Bi®, el cicle de vida comença en el cultiu de blat i la seva corresponent recollida. El blat recollit s'envia a un molí de blat humit on es separa el midó del blat i es transporta el midó. Una vegada s'han donat aquestes fases es passa a la producció de grans de Mater-Bi® mitjançant una polimerització.

La fase que segueix a aquesta és la de transformació dels grans de Mater-Bi® per mitjà de processos de extrusió en la producció de films de Mater-Bi® i la manufactura del film per a diferents productes, seguit del posterior consum. Per finalitzar, està la fase de disposició final on o bé s'incinera, es composta o s'aboca. Aquestes tres fases no es contempen en aquest treball degut a que són similars per a tots els plàstics i per tant negligibles.



Il·lustració 11-7. Diagrama del cicle de vida del Mater-Bi® [28]





Il·lustració 11-8. Sistema d'estudi del Mater-Bi®

11.4.1.4. Especificacions de les dades

11.4.1.4.1 Electricitat

Pel que fa a l'electricitat tots els processos que engloben la producció de Mater-Bi® tenen lloc a Itàlia. Les dades de centrals elèctriques italianes utilitzades per avaluar els impactes resultants de la producció y distribució d'aquesta energia va ser extreta de la base de dades Banca Dati Italiana i de LCA de ANPA. D'altra banda cal remarcar que actualment l'energia utilitzada per Novamont (l'empresa productora de Mater-Bi®) és la corresponent a l'estació elèctrica de Edison a Terni.

11.4.2. Indicadors seleccionats

Els indicadors seleccionats per a fer la base de dades d'aquest polímer són els que es mostren en la taula que apareix a continuació (Taula 10-7).

Taula 11-7. Indicadors seleccionats pel Mater-Bi®

Sostenibilitat	Escalfament global
Impacte	Destrucció de la capa d'ozó
	Potencial d'acidificació
	Potencial d'eutrofització
	Potencial de formació de oxidants fotoquímics
	Producció de residus perillosos
	Producció de residus no perillosos
Sostenibilitat i Impacte	Consum d'energia total
	NREU
	NEU
	Consum d'aigua

11.4.3. Dades

En aquest apartat es pot veure els diferents valors que prenen els indicadors quan es tracta del plàstic Mater-Bi®. En la taula mostrada a continuació (Taula 10-8) s'observa la mitja dels valors trobats, el màxim, el mínim, i els paràmetres estadístics de la variància i la desviació estàndard.

Taula 11-8. dades pel plàstic Mater-Bi®

		Mitja ¹	Màxim	Mínim	Variància	desviació estàndard	Unitats
Sostenibilitat	Escalfament global	2,51	3,68	1,91	0,681	1,01	kg CO2
	Esgotament de recursos abiòtics	2,66E-02	3,32E-02	0,02	4,36E-05	9,34E-03	kg Sb
Impacte	Potencial d'acidificació	1,73E-02	2,88E-02	8,66E-03	7,18E-05	1,04E-02	kg SO4
	Potencial d'eutrofització	4,98E-03	7,00E-03	3,10E-03	2,54E-06	1,95E-03	kg PO4
	Potencial d'esgotament d'ozó	3,32E-07	4,09E-07	2,64E-07	3,56E-15	7,31E-08	kg CFC-11
	Potencial de formació d'oxidants fotoquímics	0,63	1,26	1,74E-03	0,40	0,89	kg C2H4
	Residus tòxics associats a la producció	3,45E-02	6,13E-02	7,80E-03	7,15E-04	3,78E-02	kg
	Residus no tòxics associats a la producció	0,20	0,23	0,17	9,46E-04	4,35E-02	kg
Sostenibilitat i Impacte	Consum d'energia	59,15	63,50	54,79	18,95	6,16	MJ
	NREU	46,62	53,44	39,8	46,48	9,64	MJ
	REU	12,53	23,70	1,358	124,79	15,80	MJ
	Consum d'H2O	0,14	0,25	0,035	1,11E-02	0,15	m3

¹La mitja s'ha extret de les fonts: 1. Francesco Razza, *Environmental Product Declaration: Mater-Bi®*, Novamont company, November 2012. 2. Luigi Marini, *Environmental Product Declaration Mater-Bi®*. Biodegradable plàstic pellets fot films, Novamont May 2013. 3. Gary Parker, *A life cycle Assessment of oxo-biodegradable, compostable, and conventional bags*, Intertek Expert Services, May 2012.

11.4.4. Interpretació de les dades

En aquest apartat es comentarà els diferents indicadors, així com també les dispersions en les dades trobades i s'intentarà establir una relació entre la possible diferència de les dades entre les diferents fonts.

En primera instància, es començarà pels indicadors de sostenibilitat. Per una banda tenim l'escalfament global amb una mitja de 2.5 i una mesura de dispersió relativament petita, ja que la desviació estàndard està en 1. Per altra banda l'altre indicador seleccionat és l'esgotament de recursos abiòtics amb una mitja de 0.03 i una desviació estàndard de 0.009, mesura de dispersió molt petita i negligible.

El punt següent a tractar són els indicadors corresponents a l'impacte ambiental del Mater-Bi®. Pel que fa al potencial d'acidificació i eutrofització ambdues mesures tenen valors de dispersió molt petites (0.01 i 0.001 respectivament) amb unes mitja de 0.02 pel potencial d'acidificació i 0.005 pel d'eutrofització. Pel que fa al potencial de formació d'oxidant fotoquímics, els residus tòxics i el no tòxics associats a la producció també tenen desviacions estàndards molt petites i per tant negligibles (0.9, 0.04, 0.04 respectivament). Comentar per últim que l'indicador d'impacte amb una mesura de dispersió més gran és el de potencial d'esgotament d'ozó amb una desviació de 7.3 i una mitja $3.32 \cdot 10^{-7}$.

En relació amb els indicadors de sostenibilitat i impacte el consum d'energia, el NREU i REU tenen desviacions estàndards a considerar ja que els valors són 6.2, 9.6, 15.8 respectivament. Aquesta dispersió es pot deure a la diferència en la font de les dades tot i així els valors no discrepen gaire. Per últim comentar el consum d'aigua. En aquest cas la dispersió en les dades es de 0.15 i per tant pot ser negligida ja que tots els valors són molt similars.

11.5. Plàstic 5: Bio-PE

11.5.1. Fonts trobades

Per la recollida de dades d'aquest bio-plàstic s'ha utilitzat una única font. En la qual s'inclouen estudis comparatius entre de diferents tipus de plàstics amb els corresponents perfils ecològics. En aquest únic cas el mètode utilitzat és el mètode de l'anàlisi del cicle de vida.

Per tal de comprendre la base de dades de manera correcta i obtenir una interpretació correcta de les xifres s'hauran d'explicar els sistema escollit, així com també els límits d'aquest.

11.5.1.1. Objectiu, abast i unitat funcional

Cal primer identificar l'objectiu principal i l'abast d'aquest anàlisi així com també la unitat funcional. L'objectiu del estudi era establir un anàlisi mediambiental comparatiu entre el polietilè convencional i el polietilè de fonts biològiques. Evidentment només s'han utilitzat les dades corresponents al Bio-PE. L'abast d'aquest anàlisi compren des de la primera matèria fins a la producció de resina. Per últim la unitat funcional utilitzada és 1Kg de resina produïda.

11.5.1.2. Mètodes

Es va utilitzar un conjunt de normes internacionals de l'Organització Internacional de Estandardització (ISO). Es va definir el marc d'estudi d'acord amb les directrius de la ISO 14040. La definició d'objectiu i abast del problema i l'anàlisi del inventari, LCA i la interpretació d'aquest es va portar a terme d'acord amb les recomanacions de la mateix norma ISO. La ISO 14049 va ser utilitzada per l'establiment de les entrades i les sortides dels processos unitaris i dels límits del sistema.

11.5.1.3. Límits del sistema

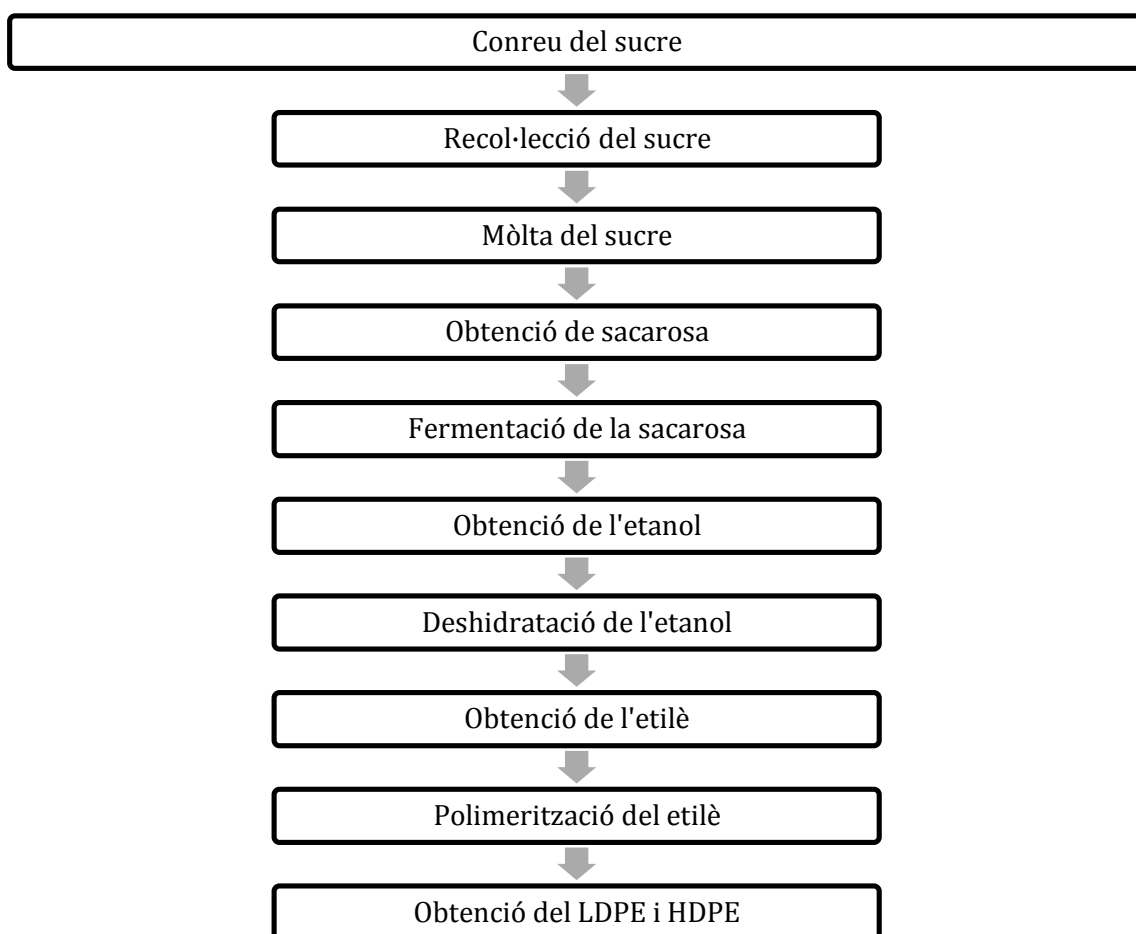
En la figura mostrada a continuació (II-lustració 10-9) es mostra les sortides i entrades del sistema. En un primer moment es conrea la primera matèria (sucre), es recol·lecta i es transporta fins al moli on acte seguit es procedeix a molla del sucre per tal d'obtenir la sacarosa.

Una vegada s'ha extret la sacarosa es transporta a la fabrica i una vegada allà, mitjançant



una fermentació s'obté etanol i aquest passa a etilè mitjançant la destil·lació i consegüent deshidratació del etanol. Per últim, l'etilè és polimeritzat i es produeix la resina.

El sistema, en aquest cas, no inclou transformacions, manufactura ni tampoc transport o consum posteriors. De la mateixa manera que no es contempla la disposició final. Es així donat que els autors d'aquets anàlisis consideren que aquests passos són similars tan en els plàstics convencionals com els bio-plàstics i per tant les emissions els valors són similars.



Il·lustració 11-9. Diagrama de flux del cicle de vida del Bio-PE [23]

11.5.2. Indicadors seleccionats

Els indicadors seleccionats per a fer la base de dades d'aquest polímer són els que es mostren en la taula que apareix a continuació (Taula 10-9).

Taula 11-9. indicadors seleccionats del Bio-PE

Sostenibilitat	Escalfament global
Impacte	Potencial d'acidificació
	Esgotament de la capa d'ozó
	Potencial d'eutrofització
	Efectes respiratoris de components orgànics
	Efectes respiratoris de components inorgànics
	Eco-toxicitat aquàtica
	Eco-toxicitat terrestre
	Carcinògens
No carcinògens	
Sostenibilitat i impacte	NREU



11.5.3. Dades

En aquest apartat es pot veure els diferents valors que prenen els indicadors quan es tracta del plàstic Bio-PE. En la taula mostrada a continuació (Taula 10-10) s'observa la mitja dels valors trobats per tots els tipus i la mitja dels dos tipus de Bio-PE. Per altra banda també s'observa el màxim, el mínim, i els paràmetres estadístics de la variància i la desviació estàndard de .

Taula 11-10. dades d'estudi del plàstic Bio-PE

		VALORS		Mitja	Màxim	Mínim	Variància	desviació estàndard	Unitats
		LDPE ¹	HDPE ¹						
Sostenibilitat	Escalfament global	1,69	1,82	1,76	1,82	1,69	4,23E-03	0,092	kg CO2
Impacte	Potencial d'acidificació	2,82E-02	3,33E-02	0,0308	0,03	2,82E-02	6,50E-06	3,61E-03	kg SO4
	Potencial d'eutrofització	6,42E-06	7,22E-06	6,82E-06	7,22E-06	6,42E-06	1,60E-13	5,66E-07	kg PO4
	Efectes respiratoris orgànics	2,68E-03	2,94E-03	2,81E-03	0,0029	2,68E-03	1,69E-08	1,84E-04	kg C2H4
	Efectes respiratoris inorgànics	1,07E-03	1,25E-03	1,16E-03	1,25E-03	1,07E-03	8,10E-09	1,27E-04	kg PM 2.5
	Eco-toxicitat Aquàtica	2,21E-03	8,55E-03	5,38E-03	8,55E-03	2,21E-03	1,00E-05	4,48E-03	kg DCB
	Eco-toxicitat terrestre	0,011	0,04	0,025	0,04	0,011	2,16E-04	2,08E-02	kg DCB
	Carcinògens	2,24E-07	4,79E-07	3,515E-07	4,79E-07	2,24E-07	1,63E-14	1,80E-07	kg C2H3Cl
	No carcinògens	2,16E-06	5,76E-06	3,96E-06	5,76E-06	2,16E-06	3,24E-12	2,55E-06	kg C2H3Cl
Sostenibilitat i Impacte	NREU	71,5	72,5	72	72,5	71,5	0,25	0,707	MJ

¹Les dades s'han extret d'una única font: NG. Wei Sien, Life Cycle analysis of petroleum based polyethylene and bio-based polyethylene, Faculty of Engineering and Science, Tunku Abdul Rahman University, April 2012

11.5.4. Interpretació de les dades

En aquest apartat es comentarà els diferents indicadors, així com també les dispersions en les dades trobades i s'intentarà establir una relació entre la possible diferència de les dades entre les diferents fonts.

D'entrada es començarà pels indicadors de sostenibilitat que en aquest cas només és un. L'escalfament global amb una mitja de 1.8 i una mesura de dispersió molt petita, ja que la desviació estàndard està en 0.1. Per altra banda cal comentar que el valor màxim és el del LDPE.

En segon lloc es tractaran els indicadors corresponents a l'impacte ambiental del Bio-PE. Pel que fa al potencial d'acidificació i eutrofització ambdues mesures tenen valors de dispersió molt petites d'aquesta manera podem dir que els valors entre els dos són gairebé inexistents. De la mateixa manera passa amb els efectes respiratoris orgànics i inorgànics amb valors de desviació tant petits que es pot negligir la diferència entre els dos bio-plàstics. De manera similar passa amb les dues eco-toxicitats (aquàtica i terrestre) i amb els carcinògens i no carcinògens amb dispersions inexistents.

Per finalitzar analitzar l'últim tipus d'indicadors dels de sostenibilitat i impacte. L'indicador trobat ha estat el NREU aquest continua tenint una dispersió molt petita de 0.7 tot i així es la més significant de totes elles. Comentar també que el valor mitja és de 72.

En ultima instancia, remarcar el fet que en tots els casos sense excepció el màxim valor correspon al bio-plàstic de baixa densitat i per tant, en termes medi ambientals tenint en compte els indicadors seleccionats és el LDPE el més contaminant i danyí.



11.6. Comparacions

L'objectiu principal d'aquest apartat és establir una comparativa entre els diferents bio-plàstics exposats amb anterioritat, així com també, exposar un exemple a mode de comparació entre un plàstic convencional i un plàstic amb base biològica.

11.6.1. Comparació entre els plàstics

En aquest primer apartat es farà la comparativa entre plàstics d'origen biològic. Per tal de de duu a terme aquesta tasca la metodologia emprada serà la comparació indicador rere indicador mitjançant les mitges de cadascun d'ells (però tenint en compte les dispersions).

11.6.1.1. Indicador de sostenibilitat: Escalfament global

Taula 11-11. Escalfament global

PLA	PHA	PA				Mater-Bi	Bio-PE		
		VESTAMID terra DS	VESTAMID terra HS	Rilsan®	PA total		HDPE	LDPE	Total
3,9	315,3	4	4,1	4,2	4,1	2,508	1,69	1,8	1,76
Unitat: kg CO2/kg plàstic									

Tal com podem observar a la taula 10-11 el PHA és el que té un valor més elevat en quant a escalfament global. Tan mateix es pot considerar un valor anòmal si es tenen en compte els altres valors dels altres plàstics.

Per altra banda, i deixant el valor del PHA a un costat, el valor mínim s'estableix en 1.69 i és el corresponent al Bio-PE d'alta densitat. Mentre que el valor més gran (sinó es té en compte el PHA) és el corresponent a la PA Rilsan®.

El valor atípic del PHA es degut a la font: "Cradle-to-gate life cycle assessment for a cradle-to-gate cycle: biogàs-to-bioplàstic" on s'utilitza el metà del biogàs per tal de produir PHA. Ja que l'altra font de dades té valors de 1.7 i 4.2, valors que coincideixen amb les altres dades.

11.6.1.2. Indicador de sostenibilitat: Esgotament de recursos abiòtics

Taula 11-12. Esgotament de recursos abiòtics

PA				Mater-Bi
VESTAMID terra DS	VESTAMID terra HS	Rilsan®	PA total	
6,39E-02	5,66E-02		6,03E-02	2,66E-02
Unitat: kg Sb/kg plàstic				

D'aquest indicador només tenim dades per les PA(exceptuant el Rilsan®) i el Mater.Bi®. Tal i com es pot veure a la taula 10-12 el valor màxim aquest indicador correspon al bio-plàstic de les PA, concretament a la PA VESTAMID terra DS®. Per contra el valor més petit és el del Mater-Bi®.

Com que en tots els casos (tant les PA com el Mater-Bi®) les dispersions són negligibles. I entre els valors dels diferents plàstics existeix una diferència molt petita; l'indicador de l'esgotament de recursos abiòtics per tots els plàstics d'origen biològic (PA i Mater-Bi®) és comparable i es pot dir que no hi ha cap preferència en la producció.

11.6.1.3. Indicador d'impacte: Potencial d'acidificació

Taula 11-13. Potencial d'acidificació

PLA	PHA	PA				Mater-Bi	Bio-PE		
		VESTAMI D terra DS	VESTAMI D terra HS	Rilsan®	PA total		HDPE	LDPE	Total
0,103	6,09	0,075	0,042		0,0585	0,017	0,0282	0,033	0,031
Unitat: kg SO2/kg plàstic									

Altres cop, podem observar a la taula 10-13 la gran diferència que existeix entre el PHA i la resta dels bio-plàstics seleccionats. En aquest cas el màxim correspon al valor de 6.09, que evidentment és del PHA.

Si tal com s'ha fet abans es deixa de banda el valor corresponent al PHA. Es nota que no hi ha molta diferència entre els diferents valors essent el més gran el PLA amb un màxim de 0.103 i el Mater-Bi® el més petit amb un valor de 0.017. Per tant si exclouem el valor del PHA els valors corresponents als altres plàstics són similars i no es presenta per aquest indicador una preferència.

El valor atípic del PHA es degut a la font: "Cradle-to-gate life cycle assessment for a cradle-to-gate cycle: biogàs-to-bioplàstic" on s'utilitza el metà del biogàs per tal de produir PHA. En



aquest cas no s'ha pogut trobar una altra font per tal de comparar.

11.6.1.4. Indicador d'impacte: Potencial d'eutrofització

Taula 11-14. Potencial d'eutrofització

PLA	PHA	PA				Mater-Bi	Bio-PE		
		VESTAMID terra DS	VESTAMID terra HS	Rilsan®	PA total		HDPE	LDPE	Total
0,003	7,19	0,008	0,005		0,0068	0,005	6E-06	7E-06	7E-06
Unitat: kg PO4/kg plàstic									

Tal i com es pot observar a la taula 10-14 es torna a trobar el valor del PHA que no només presenta un màxim a 7.19 sinó que també és un valor anòmal degut a la diferencia respecte els altres.

Per altra banda també existeixen tres valors molt petits, que són els corresponents al Bio-PE. Aquests tenen un valor de aproximadament de $6.5 \cdot 10^{-7}$. Aquest valor és inusual si es compara amb el valor de les poliamides, del PLA i del Mater-Bi®.

En aquest cas es possible establir una preferència per aquest indicador sent el Bio-PE la opció en aquest cas menys nociva.

El valor atípic del PHA es degut a la font: "Cradle-to-gate life cycle assessment for a cradle-to-gate cycle: biogàs-to-bioplàstic" on s'utilitza el metà del biogàs per tal de produir PHA. En aquest cas no s'ha pogut trobar una altra font per tal de comparar.

11.6.1.5. Indicador d'impacte: Potencial d'esgotament d'ozó

Taula 11-15 Potencial d'esgotament d'ozó

PLA	PHA	PA				Mater-Bi
		VESTAMID terra DS	VESTAMID terra HS	Rilsan®	PA total	
5E-07	0,0005	3E-07	4E-07		3,5E-07	3E-07
Unitat: kg CFC-11/kg plàstic						

Cal primer esmentar que per aquest indicador no hi ha valors del Bio-PE. En segon lloc també esmentar el màxim anòmal que existeix en 0.0005 corresponent al PHA donat que hi ha una diferencia molt gran d'aquest valor a dels altres.

Deixant de banda el valor corresponent al PHA, la resta de valors són molt semblants i tot i que és cert que el valor màxim és el de PLA la resta de valors són molt similar aquest. Per tant es pot concloure que en aquest indicador no es pot establir cap preferència.

El valor atípic del PHA es degut a la font: “*Cradle-to-gate life cycle assessment for a cradle-to-gate cycle: biogàs-to-bioplàstic*” on s'utilitza el metà del biogàs per tal de produir PHA. En aquest cas no s'ha pogut trobar una altra font per tal de comparar.

11.6.1.6. Indicador d'impacte: Efectes respiratoris orgànics

Taula 11-16. Efectes respiratoris orgànics

PLA	Bio-PE		
	HDPE	LDPE	Total
0,0209	0,00268	0,00294	0,00281
Unitat: kg C ₂ H ₄ /kg plàstic			

En aquest cas, només es disposen de les dades dels plàstics de PLA i el Bio-PE (alta i baixa densitat).

En aquest apartat (Taula 10-16) el valor màxim es troba a 0.021 i correspon al PLA. Per altra banda, els valors corresponents al Bio-PE són molt més petits. Per consegüent, existeix doncs en aquest indicador una preferència cap al Bio-PE.

11.6.1.7. Indicador d'impacte: Efectes respiratoris inorgànics

Taula 11-17. Efectes respiratoris inorgànics.

PLA	Bio-PE		
	HDPE	LDPE	Total
2,15E-02	1,07E-03	1,25E-03	0,00116
Unitat: kg PM _{2.5} /kg plàstic			

Tal com en el apartat anterior en aquest cas només es disposen de valors per els plàstics del PLA i del Bio-PE.

De la mateixa manera passa amb el valor màxim que correspon al PLA amb un valor de 0.02 (taula 10-17). I per contra en el cas del Bio-PE (el de alta i el de baixa densitat) tenen valors molt més baixos (unes deu vegades menys) fins al punt d'establir una preferència per aquest plàstic des del punt de vista d'aquest indicador.



11.6.1.8. Indicador d'impacte: Eco-toxicitat aquàtica

Taula 11-18. Eco-toxicitat aquàtica

PLA	PA				Bio-PE		
	VESTAMID terra DS	VESTAMID terra HS	Rilsan®	PA total	HDPE	LDPE	Total
4,20E+02	4,03E+03	1,71E+03		2,87E+03	2,21E-03	8,55E-03	5,38E-03
Unitat: kg DCB/kg plàstic							

Per aquest indicador no es disposen de les dades corresponents al plàstics PHA i Mater.Bi®. Com tampoc de les dades de la PA i Rilsan®.

En primer lloc es poden observar tres valors anòmals corresponents al Bio-PE. Aquests valors són extremadament petits i per tant es consideren atípics. En aquest cas al tractar-se d'una única font no es pot establir quina es la causa d'aquesta discrepància (taula 10-18).

Per altra banda, si deixem a un costat els valors del Bio-PE es pot veure que la PA amb un valor més elevat es la PA VESTAMID terra DS®. El valor mínim d'aquest indicador es el de PLA. D'aquesta manera es pot establir una preferència cap al PLA tenint en compte aquest indicador.

11.6.1.9. Indicador d'impacte: Eco-toxicitat terrestre

Taula 11-19. Eco-toxicitat terrestre

PA				Bio-PE		
VESTAMID terra DS	VESTAMID terra HS	Rilsan®	PA total	HDPE	LDPE	Total
1,32E-02	8,87E-03		1,10E-02	1,07E-02	4,00E-02	0,025
Unitat: kg DCB/kg plàstic						

Primer comentar que per aquest indicador no es disposen dades pels plàstics PLA, PHA, i Mater-Bi®. De la mateixa forma tampoc hi ha dades sobre la poliamida Rilsan®.

Per una banda el màxim es troba en 0.04 i correspon al plàstic LDPE. Per altra banda el mínim és de 0.009 corresponent a la poliamida VESTAMID terra HS® (taula 10-19). Tan mateix els valors per tots el tipus de plàstics són tant similars que és impossible establir una preferència clara només tenint en compte l'indicador de l'eco-toxicitat terrestre.

11.6.1.10. Indicadors d'impacte ambiental: carcinògens i no carcinògens

Taula 11-20. carcinògens i no carcinògens

Indicadors	PHA	Bio-PE			Unitats
		HDPE	LDPE	Total	
Carcinògens	8,24E-01	2,24E-07	4,79E-07	3,515E-07	kg C2H3Cl/kg plàstic
No carcinògens	620,9803	2,16E-06	5,76E-06	3,96E-06	kg C2H3Cl/kg plàstic

Primerament esmentar que sols es disposen de dades pels plàstics del PHA i pels plàstics del Bio-PE. També remarcar el fet que els dos indicadors es comparen junts perquè tot i sent valors diferents les tendències són les mateixes.

Com ja s'ha vist en apartats anteriors existeixen dos valors anòmals corresponents al PHA; 0.8 i 621 per el carcinògens i els no carcinògens respectivament (Taula 10-20). Per altra banda veiem que els valors del Bio-PE estan molt allunyats del PHA és per això que la preferència per aquests dos indicadors són els plàstics Bio-PE. Tot i així remarcar que al tractar-se de un valor anòmal el corresponent al PHA s'haurien de disposar de més dades per tal de fer una comparativa on es pugui escollir una preferència.

11.6.1.11. Indicador sostenible i d'impacte: Consum d'energia

Taula 11-21. Consum d'energia

PLA	PA				Mater-Bi
	VESTAMID terra DS	VESTAMID terra HS	Rilsan®	PA total	
161,557	231	175	162	189,33333	59,1465
Unitat: MJ/kg plàstic					

D'entrada comentar el fet que només es disposen dades pel PLA, PA i el Mater-Bi®. Del PHA i el Bio-PE no es disposa de cap dada del consum total d'energia.

Amb referència al màxim, es troba en la poliamida VESTAMID terra DS® amb un valor de 231 (Taula 10-21). El mínim es troba en 59.1 que correspon al plàstic Mater-Bi®. En aquest cas es pot observar que el valor del Mater-Bi® està una mica allunyat dels altres valors. Tot i així, es pot establir una preferència clara si es té en compte aquest indicador, aquesta seria el Mater-Bi®.



11.6.1.12. Indicador sostenible i d'impacte: NREU

Taula 11-22. NREU

PLA	PHA	PA				Mater-Bi	Bio-PE		
		VESTAMID terra DS	VESTAMID terra HS	Rilsan®	PA total		HDPE	LDPE	Total
79,06	75			111	111	46,62	71,5	72,5	72
Unitat: MJ/kg plàstic									

Començar explicant que tot i que es disposen dades pels cinc tipus de plàstics, no es tenen dades sobre el PA VESTAMID terra®.

En primer lloc s'observa un màxim en 111 corresponent a la poliamida Rilsan® (taula 10-22). També es pot veure un mínim en el Mater-Bi®. Per tant, tal i com en apartat anterior, en el cas d'aquest indicador la preferència seria la corresponent al Mater-Bi®. Cal destacar que no existeixen valors anòmals o atípics, tot i que es cert que la dada corresponent al Mater-Bi® és més baixa que les altres.

11.6.1.13. Indicador sostenible i d'impacte: REU

Taula 11-23. REU

PLA	PA				Mater-Bi
	VESTAMID terra DS	VESTAMID terra HS	Rilsan®	PA total	
82,49			51	51	12,529
Unitat: MJ/kg plàstic					

En primer lloc esmentar el fet que no es disposin dades per les poliamides VESTAMID®, pel PHA i pel Bio-PE.

En segon lloc, es pot observar el màxim en 82.5 pel PLA i el mínim en 12.5 pel Mater-Bi® (Taula 10-23). Conseqüentment, de manera percentual l'energia extreta de fonts renovables és major en el cas del PLA que no pas en el cas del Mater-Bi® i per tant la preferència si es fes servir aquest indicador seria de la del PLA.

11.6.1.14. Indicador sostenible i d'impacte: Consum d'aigua

Taula 11-24. Consum d'aigua

PLA	Mater-Bi	Unitat
0,049	0,14	m3/kg plàstic

Primerament comentar que només s'han pogut extreure dades del PLA i del Mater-Bi® en

quant a consum d'aigua es refereix. En segon lloc esmentar que amb les dades proporcionades i donat que el valor del PLA és unes 3 vegades més petit que el valor del Mater-Bi® la preferència segons aquest indicador serà el PLA.

11.6.2. Comparació entre plàstics convencionals i bio-plàstics

Aquest apartat mostrarà un exemple comparatiu entre un plàstic convencional i un bio-plàstic. Els plàstics escollits han estat el PLA i el PET. S'ha escollit aquests dos plàstics perquè en l'actualitat el PLA té aplicacions semblants al PET. En la taula que es mostra a continuació podem observar diferents indicadors pels dos plàstics (Taula 10-25).

Taula 11-25. Comparativa dels plàstics PLA i PET

		Unitat (per kg plàstic)	PLA	PET	MÀXIM
Sostenibilitat	Escalfament global	kg CO2	3,88	2,455	PLA
	Petjada aparent: cultius	ha	1,3E-6	1,5E-6	PET
Impacte	Potencial d'acidificació	Kg SO2	0,10	0,012	PLA
	Potencial d'eutrofització	kg PO4	2,94E-3	1,77E-3	PLA
	Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11	4,67E-07	5,08E-06	PET
	Efectes respiratoris orgànics	kg C2H4	0,021	2,61E-3	PLA
	Efectes respiratoris inorgànics	kg PM 2.5	0,021	2,18E-3	PLA
	Eco-toxicitat Aquàtica	kg DCB	419,55	160,56	PLA
Sostenibilitat i Impacte	Consum d'energia	MJ	161,56	69,4	PLA
	NREU	MJ	79,06	80,2	PET
	REU	MJ	82,49	0,8	PLA
	Consum d'H2O	m3	0,049	0,06	PET

Pel que fa la sostenibilitat podem veure que l'escalfament global és més gran en el procés productiu del PLA. Per contra del que es podria pensar, la petjada aparent de cultius és major en el PET que no pas en el PLA. Aquest fet no deixa de sorprendre ja que en un principi la matèria prima del PLA s'extreu en la seva totalitat del cultiu. És possible que aquest valor es degui a la quantitat de PET que es fabrica al món en comparació a la quantitat de PLA que es fabrica, ja que aquest últim és del que menys es produeix. Amb tot la diferència que existeix és molt petita.

Pel que fa als indicadors d'impacte ambiental el PET només té un màxim en l'indicador de



potencial d'esgotament d'ozó, amb una diferencia de aproximadament deu vegades el PLA respecte el PET. Tanmateix cal puntualitzar que en el cas del indicador de potencial d'acidificació, d'efectes respiratoris orgànics i inorgànics els valors corresponents al PLA són deu vegades més grans que els valors que corresponen al PET. Pel que fa al potencial d'eutrofització tot i que és cert que el PLA es més gran que el PET aquesta distancia no és tan remarcable com en els casos exposats anteriorment. Per altra banda, tenim la ecotoxicitat aquàtica (aquesta inclou la marina i la d'aigua dolça) que tot i que la diferencia no és tant pronunciada com en els altres casos continua sent el PLA qui arriba al màxim.

En quan els indicadors de sostenibilitat i d'impacte primer esmentar el fet altra vegada sorprenent de que tot i que el PLA es tracta d'un plàstic amb matèria prima procedent de cultius i aquests són de regadiu és el PET el que arriba al valor més elevat. Per altra banda, el consum d'energia total del PLA és aproximadament 2.3 vegades més gran que el valor del PET. Aquest fet ja va en concordança amb l'indicador de sostenibilitat de l'escalfament global on també és el PLA el que té un valor més elevat. En segon lloc comentar el fet que la utilització d'energia no renovable, ambdós plàstics utilitzen la mateixa, encara que s'ha de contemplar el fet que l'energia total utilitzada pel PLA és el doble del valor del consum d'energia no renovable; fet que ens porta al últim punt, el consum d'energia renovable. En aquest punt el PLA és el que obté un valor màxim, ja que tot i que si que és veritat que utilitza el doble d'energia per la fabricació també és cert que la meitat d'aquesta energia és extreta de fonts natural per contra del PET. El PET tot i que utilitza menys energia tota la energia l'extreu de fonts no renovables i és una part residual la que és extreta de fonts renovables.

12. Estudi econòmic

A continuació es mostren els costos derivats de la realització del present treball, els quals estan dividits en els següents apartats: recursos humans i altres despeses. Els primers corresponen a les hores dedicades per el projectista al fer el projecte, mentre que les altres despeses corresponen a la impressió tant del treball com dels diferents articles i documents utilitzats.

RECURSOS HUMANOS

Activitat	Quantitat (h)	Preu unitari (€/h)	Cost total (€)
Recerca i estudi bibliogràfica	152	15	2280
Tractament de dades	248	15	3720
Confecció de la memòria	200	15	3000
SUBTOTAL	600	152	9000

ALTRES DESPESES

Activitat	Cost total (€)
Material d'oficina	225
Despeses d'impressió	75
SUBTOTAL	300



COST GLOBAL	
TOTAL ACTIVITATS	
Recursos humans	9 000,00 €
Altres despeses	300 €
SUBTOTAL	9300 €
IVA (21%)	1953 €
COST TOTAL PROJECTE	11 253 €

El cost total del projecte ha estat de ONZE MIL DOS CENTS CINQUANTA TRES EUROS.

13. Planificació de la realització del treball

Realització del projecte	Juliol		Agost		Setembre		Octubre		Novembre		Desembre		Gener	
Recerca bibliogràfica de la part teòrica														
Redacció de la part teòrica														
Recerca bibliogràfica de dades d'indicadors														
Realització de la base de dades														
Redacció de la interpretació de la base de dades														
Redacció de les comparacions entre plàstics														
Redacció de la memòria completa														
Preparació de l'exposició														

14. Impacte ambiental

L'impacte sobre el medi ambient procedent del projecte correspon al cost d'energia del ordinador utilitzat pel tractament de les dades i la redacció de la memòria i el CO₂ d'aquesta utilització.

A continuació a la taula 13-1 es pot veure la energia utilitzada per l'ordinador:

Taula 14-1. Energia generada

Màquina	Potència (kW)	Temps de funcionament (h)	Consum (kWh)
Ordinador	0,17	600	102

Fent us de la següent equivalència 1KWh=0.264 kg de CO₂ s'obté una emissió de 26.928 kg de CO₂.

Per altra banda també s'ha de tenir en compte que s'han utilitzat altres materials: tinta d'impressora i folis. Per tant el principal residu ha estat el paper. Amb tot, s'han consumit aproximadament unes 600 fulles de paper que representen uns 3 kg de paper. Tots aquests residu han estat dipositats en els seus respectius contenidors (blau) de manera que sigui possible la seva utilització.

Per últim cal remarcar que tots els desplaçaments fets pel projectista s'ha realitzat en transport públic, de forma que no s'ha incrementat cap emissió de gasos globals com a conseqüència de la elaboració del projecte.

15. Conclusions

En aquest apartat s'exposaran de manera breu i concisa les conclusions extretes de la realització del projecte.

En primer lloc, la quantitat d'indicadors existents per tal de mesurar l'impacte i la sostenibilitat dels materials en general és immensa. Per altra banda durant la realització d'aquest projecte també van anant sortint nous indicadors en els quals s'estava treballant (com l'indicador econòmic per mesurar l'impacte). A més a més, fer una distinció clara i acurada dels indicadors classificant-los en indicadors d'impacte o de sostenibilitat no sempre ha estat fàcil tenint en compte que en la bibliografia no es solen distingir els tipus d'indicadors ambientals. Es per això que en la classificació establerta hi ha un apartat d'indicadors d'impacte i sostenibilitat, a copia de que la seva interpretació podia suposar impacte i sostenibilitat. També remarcar en l'apartat d'indicadors que, l'indicador que des de un punt de vista personal sembla més importants és l'escalfament global. Aquest ens dona una mesura de la sostenibilitat a més a més de poder-ho relacionar amb la energia utilitzada.

En segon lloc, alhora de trobar dades o valors pels bio-plàstics ha estat complicat per diversos motius. El primer de tots ells és el fet que en la majoria de la bibliografia no es defineix d'una manera correcta la paraula bio-plàstic, es per aquesta raó que en la majoria de bibliografia es considera el bio-plàstic com un plàstic biodegradable però d'origen fòssil, tant mateix aquest projecte no tractava aquest tipus de plàstics sinó els corresponents a l'origen biològic. El segon problema resideix en la falta de dades en la bibliografia sobre aquest tipus de plàstic. Tot i que existeixen un gran número de bases de dades del impacte ambiental dels plàstics en elles (Plastics Europe, GaBi...) no s'inclou cap plàstic de base biològica. També s'ha de dir que les indústries fabricants de plàstics d'origen biològic són molt poques i relativament noves i gairebé no existeix informació ambiental per cadascun dels materials fabricats en la fabrica. Per últim comentar que aquest tipus de plàstics no ha estat objecte d'estudi fins fa poc (aquests últims 10 anys) i el fet que la definició sobre "bio-plàstic" no s'hagi acabat de establir o assolir complica en certa manera la recerca de dades.

En tercer lloc, una vegada feta la base de dades i havent comparat cadascun dels plàstics per separat s'observa la falta en alguns casos de relació o coherència de les dades. Alguns valors de dispersió trobats són molt grans, finalment s'ha arribat a la conclusió des del punt



de vista del projectista que falten mètodes d'estandardització en quant a l'anàlisi del cicle de vida i a la metodologia emprada per tal de fer les diferents mesures dels indicadors.

En quart lloc, alhora de comparar els bio-plàstics entre ells s'arriba a la conclusió que cap d'ells n'és l'ideal en quant a comportament vers el medi ambient es refereix. Cadascun d'ells posseeix uns comportament diferent respecte els diferents problemes medi ambientals. Per altra banda, i després de haver-se fet la comparació entre plàstics convencionals i plàstics de base biològica se'n desprèn la idea de que cap d'ells és ideal, i que depenent de quin indicador es vulgui minimitzar decantar-se per un plàstic o per un altre.

En conclusió, tot i que és cert que els plàstics són un dels grans problemes amb el qual s'enfronta la societat i que, els plàstics d'origen biològic es presenten en un primer moment com una solució en realitat no ho són. No només s'ha de fer més investigació i recerca en la millora i optimització dels processos per tal de minimitzar l'impacte ambiental i augmentar la sostenibilitat d'aquests sinó que s'ha d'establir una referencia estandarditzada i normalitzada de valors dels indicadors i de la metodologia per obtenir-los per tal de, partir d'una base ferma i sòlida poder minimitzar-los.

16. Agraïments

El meu agraïment pel Jordi Bou Serra per la seva acollida i la seva ajuda en la realització d'aquest projecte.

Gràcies també a la Mònica Miernau per la seva ajuda i suport

Gracies a la meva família per la seva ajuda perquè sinó no hagués pogut arribar fins aquí.

En definitiva, a totes les persones que d'alguna forma o una altra han contribuït a la concepció d'aquest projecte



17. Bibliografia

Referencies bibliogràfiques

- [1] J. A. Brydson, *Plastic Materials*, 7 a edició, Ed. Butterworth-Heinemann, 1999.
- [2] Eugene S. Stevens, *Green Plastics: An Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics*, Edició il·lustrada, Ed. Princeton University Press, 2000.
- [3] David K.A. Barnes, Francois Galgani, Richard C. Thompson and Morton Barlaz; *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments*. Philosophical transactions of the royal society B (15 June 2009), 1985-1998.
- [4] Justin Kitzes, Audrey Peller, Steve Goldfinger, and Mathis Wackernagel; *Current Methods for Calculating National Ecological Footprint Accounts*. Science for Environment & Sustainable Society, Reserch center of sustainability and environment, Shiga University. Vol.4 No.1 2007.
- [5] United States Environmental Protection Agency (EPA) *Climate Change Indicators in the United States*, 2012.
- [6] Mark Goedkoop, Suzanne Effting y Marcel Collignon. Anexo Eco-indicador 99'. *Mètode para evaluar el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida. Manual para diseñadores*. Ministerio Holandés de Medio Ambiente. 17, abril 2000.
- [7] United States Environmental Protection Agency (EPA), *Air and Radiation. Ozone Layer Depletion*, August 2010.
- [8] <http://biofinagroup.com/acidification-potential-life-cycle-assessment-indicators-2/>. Media team, 12 June, 2013 [23/10/2014]
- [9] EPA Information, *Photochemical smog- What it means for us*. March, 2004.
- [10] <http://www.bre.co.uk/greenguide/page.jsp?id=2104> Breglobal, UK, 2014. [16/10/2014]
- [11] Gong Ping, Sun Tieheng, *Side-effects of organic and inorganic pollutants on soil nitrification and respiration*, Institute of applied Ecology, Chinese Academy of Science, Shenyang. Journal of Environmental Sciences, Vol. 8, 1996.
- [12] United States Environmental Protection Agency (EPA), *Introduction to hazardous waste identification*. September, 2005.

- [13] European Environment Agency, *Costs of air pollution from European industrial facilities 2008-2012*, 2014.
- [14] G. Rebitzer, T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W-P. Schmidt, S. Suh, B.P. Weidema, *Life Cycle Assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and Applications*, D.W. Pennington. Enciroment International, novembre 17, 2003.
- [15] <http://www.betalabservices.com/biobased/astm-d6866.html> Beta Analytic biobased Testing. 2014, [5/11/2014]
- [16] <http://www.betalabservices.com/biobased/cen-16137.html> Beta Analytic biobased Testing. 2014, [5/11/2014]
- [17] <http://www.betalabservices.com/biobased/cen-16295.html> Beta Analytic biobased Testing. 2014, [5/11/2014]
- [18] European Bioplàstics, *What are bioplastics? Matirials types, terminology and labels – an introduction*, Fact Sheet: European Bioplastics, January, 2014.
- [19] Dr. Rainer Hagen, *Basics of PLA*, bioplastics magazine Vol.4, January 2009.
- [20] Michael Thielen, *Basics of Bio-Polyamides*, Bioplastics Magazine Vol.5, May 2013.
- [21] Seungdo Kim and Bruce E. Dale, *Life Cycle Assessment Study of Biopolymers (Polyhydroxyalkanoates) Derived from no-Tilled Corn*, Department of Chemical Engineering & Material Science, Michigan State University, Michigan, 2005.
- [22] <http://www.novamont.com/Products/default.asp?id=504>, 2009, Novamont S.p.A Novara, Italia, 2009. [18/10/2014]
- [23] NG. Wei Sien, *Life Cycle analysis of petroleum based polyethylene and bio-based polyethylene*, Faculty of Engineering and Science, Tunku Abdul Rahman University, April 2012.
- [24] Santosh Madival, Rafael Auras, Sher Paul Singh, Ramani Narayan, *Assessment of the environmental profile of PLA, PET I PS clamshell containers using LCA methodology*, Journal of Cleaner Production, May 2009.
- [25] Erwin T.H. Vink, Steve Davies, and Jeffrey J. Kolstad, *The eco-profile for current Ingeo® polylactide production*, Industrial Biotechnology, Vol.6, num.4, August 2010.



- [26] Katherine H. Rostkowski, Craig S. Criddle, and Michael D. Lepech, *Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment for a Cradle-to-Cradle cycle: Biogas-to-Bioplàstic*, Environmental Science & Technology, July 2012.
- [27] Jean-François Decaux, Guillaume Lê, Bernard Pees, *Application of Eco-profile methodology to Polyamide 11*, Arkema CERDATO, France, January 2013.
- [28] Francesco Razza, *Environmental Product Declaration: Mater-Bi®*, Novamont company, November 2012.

Per la confecció de la base de dades

Erwin T.H. Vink, Steve Davies, and Jeffrey J. Kolstad, *The eco-profile for current Ingeo® polylactide production*, Industrial Biotechnology, Vol.6, num.4, August 2010.

Santosh Madival, Rafael Auras, Sher Paul Singh, Ramani Narayan, *Assessment of the environmental profile of PLA, PET I PS clamshell containers using LCA methodology*, Journal of Cleaner Production, May 2009.

Guo-Qiang Chen and Martin K Patel, *Plastics derivated from biological Sources: Present and future: A technical and Environmental Review*, Chemical Reviews, American Chemical Society, 2012.

Katherine H. Rostkowski, Craig S. Criddle, and Michael D. Lepech, *Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment for a Cradle-to-Cradle cycle: Biogas-to-Bioplàstic*, Environmental Science & Technology, July 2012.

Jean-François Decaux, Guillaume Lê, Bernard Pees, *Application of Eco-profile methodology to Polyamide 11*, Arkema CERDATO, France, January 2013.

Benjamin Brehmer, *Life Cycle Assessment of bibased polyamides VESTAMID® Terra*, Evonik Industries AG, 2014.

Francesco Razza, *Environmental Product Declaration: Mater-Bi®*, Novamont company, November 2012.

Luigi Marini, *Environmental Product Declaration Mater-Bi®: Biodegradable plàstic pellets for films*, Novamont May 2013.

Gary Parker, *A life cycle Assessment of oxo-biodegradable, compostable, and conventional bags*, Intertek Expert Services, May 2012.

NG. Wei Sien, *Life Cycle analysis of petroleum based polyethylene and bio-based polyethylene*, Faculty of Engineering and Science, Tunku Abdul Rahman University, April 2012

Bibliografia complementaria

Tomás Hak, bedrich Moldan and Arthur Lyon Dalh, *Sustainability Indicators, A Scientific Assessment*, . Island Press, 2012.

Jeroen B. Guinee, Reinout Heijungs and Gjalt Huppes. Alessandra Zamagni, Paolo Masoni and Roberto Buinamici. Tomas Ekvall and Tomas Rydberg, *Life cycle assessment: Past, Present, and Future*, Environmental Science Technology. August 17, 2010.

Roger Bacon Drive Reston, *Life cycle assesment: Principles and practice. Scientific Applications International Corporation (SAIC)*, National Risk Managment reserch laboratory office of research and development US Enviromental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, May 30,2006.

Sina Ebnesajjad, Handbook of Biopolymers and biodegradable Plastics: Propierties, Processing and Applications, Ed. William Adrew, 2012.

