Resum

Els plàstics són un tipus de materials que presenten múltiples aplicacions en diversos camps. Des del seu descobriment, la seva demanda no ha fet més que incrementar gràcies a les seves excel·lents propietats. Però, també és cert que causen un gran impacte sobre el medi ambient i això provoca una gran preocupació.

Aquest projecte pretén diferenciar tots els indicadors ambientals existents, analitzar els mètodes que es fan servir per determinar la sostenibilitat dels plàstics i estudiar cinc plàstics convencionals. Per tant, es presenta com una solució per quantificar l'impacte ambiental del poliestirè, del polipropilè, del polietilè, del polietilè de tereftalat i del policlorur de vinil. Es realitza una recerca bibliogràfica de dades d'indicadors pels diferents plàstics amb la finalitat d'unificar totes les dades disponibles en una base de dades. D'aquesta manera, es poden veure totes agrupades i realitzar l'estudi estadístic corresponent per estudiar la dispersió de dites dades.

Amb les dades registrades, s'ha pogut realitzar una anàlisi comparativa dels resultats i s'observa que el polipropilè és el plàstic amb un impacte ambiental menor. Pel contrari, els tres plàstics que es poden considerar els més agressius són el polietilè de tereftalat i dos tipus de policlorur de vinil. El material plàstic menys sostenible dels que s'han estudiat és el poliestirè, emprant uns consums d'aigua i d'energia molt elevats per a la seva producció.

Per acabar, també cal destacar que aquest projecte inclou una breu comparació entre un plàstic convencional, el poliestirè cristall, i un bioplàstic, el Mater-Bi per determinar-ne quin d'ells és més sostenible i causa un menor impacte en el medi ambient.

Sumari

RESUM 1

SUMARI 3

1. GLOSSARI 7

2. PREFACI 9

2.1. Origen i motivació del projecte 9

2.2. Abast del projecte 9

3. OBJECTIUS 11

3.1. Objectiu general 11

3.2. Objectius específics 11

4. ELS PLÀSTICS I EL MEDI AMBIENT 13

5. ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA (LCA) 17

6. INDICADORS AMBIENTALS 21

6.1. Indicadors d'impacte ambiental 22

6.1.1. Eco-indicador '99 22

6.1.2. Gasos d'efecte hivernacle 23

6.1.3. Potencial d'esgotament d'ozó 24

6.1.4. Potencial d'acidificació 24

6.1.5. Potencial d'eutrofització 24

6.1.6. Potencial de toxicitat 25

6.1.7. Efectes respiratoris de components orgànics i inorgànics 26

6.1.8. Residus tòxics i no tòxics associats a la producció 26

6.1.9. Emissions aquàtiques i atmosfèriques 26

6.1.10. Potencial de creació fotoquímica d'ozó (smog fotoquímic) 27

6.1.11. Costos de la contaminació atmosfèrica 27

6.2. Indicadors de sostenibilitat 28

6.2.1. Petjada ecològica 28

6.2.2. Potencial d'escalfament global 29

6.2.3. Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics 29

6.2.4. Material requerit 29

6.2.5. Material subjecte a reciclatge 29

6.3. Indicadors d'impacte ambiental i sostenibilitat 30

6.3.1. Consum d'energia 30

ETSEIB

6.3.2. Consum d'aigua 30
6.3.3. Consum de petroli 30

7. MÈTODES EXPERIMENTALS PER DETERMINAR LA SOSTENIBILITAT 31

7.1. ASTM D6866 31
7.2. CEN/TS 16137 32

8. ELS PLÀSTICS CONVENCIONALS 33

8.1. Poliestirè (PS) 35
8.2. Polipropilè (PP) 38
8.3. Polietilè (PE) 39
8.4. Polietilè de tereftalat (PET) 41
8.5. Policlorur de vinil (PVC) 42

9. FONTS BIBLIOGRÀFIQUES I BASES DE DADES 45

10. RESULTATS 47

10.1. Poliestirè (PS) 47
10.1.1. Fonts trobades 47
10.1.2. Indicadors seleccionats 48
10.1.3. Dades 48
10.1.4. Interpretació de les dades 51
10.2. Polipropilè(PP) 52
10.2.1. Fonts trobades 52
10.2.2. Indicadors seleccionats 52
10.2.3. Dades 52
10.2.4. Interpretació de les dades 54
10.3. Polietilè (PE) 55
10.3.1. Fonts trobades 55
10.3.2. Indicadors seleccionats 55
10.3.3. Dades 55
10.3.4. Interpretació de les dades 59
10.4. Polietilè de tereftalat (PET) 60
10.4.1. Fonts trobades 60
10.4.2. Indicadors seleccionats 60
10.4.3. Dades 60
10.4.4. Interpretació de les dades 62
10.5. Policlorur de vinil (PVC) 63
10.5.1. Fonts trobades 63

10.5.2. Indicadors seleccionats 63
10.5.3. Dades 63
10.5.4. Interpretació de les dades 67
10.6. Comparacions 68
10.6.1. Comparació entre els plàstics 68
10.6.2. Comparació entre un plàstic convencional i un bioplàstic 72
11. ESTUDI ECONÒMIC 75
12. CRONOGRAMA 77
13. IMPACTE AMBIENTAL 79
14. CONCLUSIONS 81
15. AGRAÏMENTS 83
16. BIBLIOGRAFIA 85
ANNEX A: TAULES 89

1. Glossari

Abreviatures i acrònims:

ASTM	*American Society for Testing and Materials*
CEN	*Comité Européen de Normalisation*
CFC	*Clorofluorocarbonat*
EPS	*Expanded Polystyrene*
GPPS	*General-Purpose Polystyrene*
HDPE	*High-Density Polyethylene*
HIPS	*High-Impact Polystyrene*
ISO	*International Organization for Standardization*
LCA	*Life Cycle Assessment*
LCI	*Life Cycle Inventory*
LCIA	*Life Cycle Impact Assessment*
LDPE	*Low-Density Polyethylene*
LLDPE	*Linear Low-Density Polyethylene*
PE	Polietilè
PET	Polietilè de tereftalat
PP	Polipropilè
PS	Poliestirè
PVC	Policlorur de vinil
XPS	*Extruded Polystyrene*

2. Prefaci

2.1. Origen i motivació del projecte

En l'actualitat, el medi ambient és un tema que genera una gran preocupació i a nivell ambiental, els materials plàstics estan molt qüestionats. No existeix un sistema per mesurar i avaluar amb exactitud el seu impacte ambiental o la seva sostenibilitat. Una solució que es planteja són els bioplàstics però tampoc se sap quina és la magnitud del seu impacte sobre el medi ambient.

En aquest projecte es pretenen aportar algunes solucions per quantificar l'impacte ambiental dels plàstics. D'aquesta manera, es tindria la possibilitat de realitzar una rigorosa comparació entre aquests materials i obtenir una nova característica de caire tecnològic pels plàstics, de forma similar a les seves propietats mecàniques i químiques.

És un tema ambigu a vegades, controvertit i difícil de posar d'acord entre els experts. Així doncs, aquesta proposta és tan sols una aportació més, organitzada en forma d'estudi imparcial i amb la finalitat d'ajudar a avaluar l'impacte ambiental i la sostenibilitat dels plàstics.

2.2. Abast del projecte

L'abast d'aquest projecte es únicament la recol·lecció de dades bibliogràfiques presents en els medis de comunicació científics i tecnològics, incloent revistes científiques, llibres, Internet, fonts tecnològiques o similars. En cap cas es detallarà com es troben o com es calculen aquests indicadors ja que formen part d'un altre línia de recerca més amplia i complexa.

3. Objectius

3.1. Objectiu general

L'objectiu general d'aquest projecte és recollir totes les dades disponibles, que són presents a la bibliografia, sobre indicadors ambientals de materials plàstics convencionals amb la finalitat d'expressar-los com a base de dades.

3.2. Objectius específics

A banda de l'objectiu general d'aquest treball, els objectius específics són els següents:

- Diferenciar els indicadors d'impacte ambiental dels indicadors de sostenibilitat.
- Definir i explicar clarament tots els indicadors recollits.
- Recollir les dades presents a la bibliografia sobre els indicadors ambientals en base al cicle de vida "del bressol a la porta" (*cradle-to-gate*) dels materials plàstics convencionals escollits: poliestirè, polipropilè, polietilè, polietilè de tereftalat i policlorur de vinil.
- Recollir les dades existents a la bibliografia sobre indicadors de sostenibilitat dels materials plàstics convencionals triats, ja mencionats anteriorment.
- Realitzar una comparació dels diferents plàstics convencionals estudiats a partir de la base de dades realitzada.
- Comparar un dels plàstics estudiats en aquest estudi amb un bioplàstic.

4. Els plàstics i el medi ambient

Intentar mirar al voltant i no trobar objectes fabricats a partir de plàstics és complicat, per no dir impossible. És un material amb tantes aplicacions que es pot trobar tant en envasos i roba, com en joguines i, fins i tot en electrodomèstics. Els plàstics formen part de la vida quotidiana de les persones a nivell mundial i la demanda cada any augmenta.

Els plàstics són materials relativament nous i moderns si es comparen amb altres materials, però ja fa més de 100 anys que existeixen. Els plàstics naturals ja es feien servir abans de la creació dels plàstics sintètics. L'any 1870, l'inventor nord-americà John Wesley Hyatt va crear i patentar el cel·luloide, un plàstic semi-sintètic, i el primer ús que se li va donar va ser per a la fabricació de peces dentals. No va ser fins el 1907 quan es desenvoluparia la baquelita, el primer plàstic totalment sintètic. El responsable va ser el químic belga Leo Baekeland. [1]

A mesura que anaven passant els anys, l'interès per part dels químics i les indústries per crear nous polímers va anar augmentant. L'any 1930, es van començar a produir els primers plàstics derivats del petroli. I mica en mica, es van anar creant nous plàstics. Des de llavors, la producció del materials plàstics a escala mundial ha anat augmentant progressivament fins a arribar a xifres ben elevades. En la Figura 4.1 es pot observar aquest increment (a nivell mundial i europeu) des de l'any 1950 fins l'any 2010. [2]

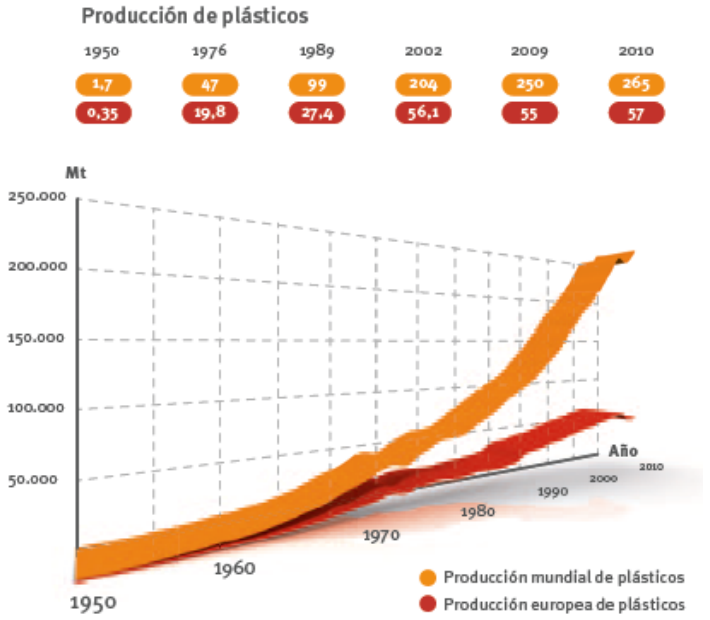

Figura 4.1 Producció mundial i europea de plàstics. [3]

A Europa, la producció de plàstic a l'any 2009 va patir una davallada considerable, però durant els últims anys s'ha estabilitzat, sent de 57 milions de tones l'any 2013. Pel contrari, la producció global del planeta ha continuat creixent. Les dades exactes entre els anys 2011 i 2013 es recullen en la Taula 4-1. [4]

Taula 4-1 Producció mundial i europea de plàstic entre el 2011 i el 2013.

	Europa	Món
2011	58 milions de tones	279 milions de tones
2012	57 milions de tones	288 milions de tones
2013	57 milions de tones	299 milions de tones

Els plàstics, des del seu descobriment, han canviat la vida quotidiana de les persones. La diversitat dels polímers i la versatilitat de les seves propietats han permès produir plàstics amb un gran ventall d'aplicacions, com es pot veure en la Figura 4.2.

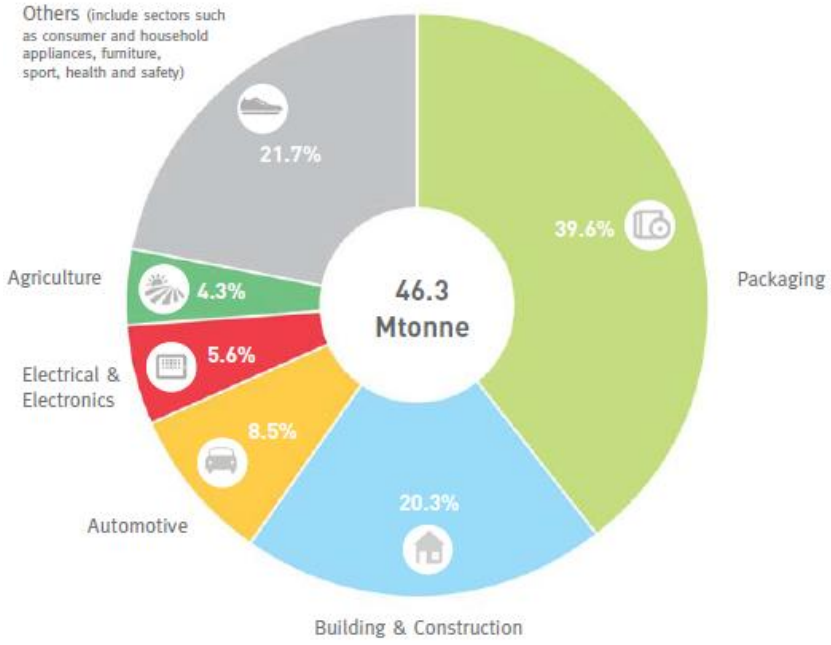

Figura 4.2 Demanda europea dels plàstics a l'any 2013. [4]

L'any 2013 a Europa, els envasos pertanyien al camp d'aplicació més extens implicant un 39,6% de la demanda total. Els plàstics també són altament utilitzats en la construcció i en menor quantitat s'utilitzen en aparells elèctrics i electrònics (5,6%) i en l'automoció (8,5%). I en l'agricultura, que s'utilitzen des de mitjans del segle XX, els plàstics representen un 4,3% de la demanda. [4]

Com es pot veure és evident que els plàstics formen un paper fonamental en molts aspectes de la vida, tant és així que les aplicacions que presenten cada cop són més innovadores. Seria difícil prescindir dels plàstics, també per la importància econòmica que tenen.

Tot i que els usos dels plàstics no paren de créixer no es pot oblidar que els plàstics generen un gran impacte sobre el medi ambient i aquest és un tema que genera molta preocupació que va en augment.

Avui dia, la majoria dels plàstics tradicionals són derivats del petroli, que és la principal matèria prima emprada per fabricar-los. Els plàstics requereixen de quantitats elevades d'energia per a la seva producció. A part, també s'emeten nombrosos gasos contaminants a l'atmosfera, com per exemple, hidrocarburs volàtils, diòxid de carboni, fenols, entre d'altres. Atès que aquests plàstics provenen d'una font no renovable i són persistents en el medi no acostumen a ser biodegradables. A més, molts materials plàstics contenen additius que podrien ser tòxics o perjudicials. Així doncs, és convenient realitzar un tractament adequat per tal d'eliminar i gestionar els residus dels materials plàstics. Del contrari, la contaminació produïda pot suposar un gran impacte ambiental.

Els residus constitueixen un dels grans problemes mediambientals amb diferents impactes tant a nivell local com global. Aproximadament, a cada país es genera un 10% de residus plàstics. Aquests com a residus poden ocasionar greus conseqüències en els ecosistemes marins i terrestres afectant negativament els animals que hi habiten. Els oceans són un ecosistema que s'ha vist molt afectat a causa de la immensa quantitat de deixalles que s'hi aboquen. En conseqüència, es produeix una acumulació de residus, entre ells, residus plàstics que es queden estancats. A causa d'aquest fet, molts éssers vius marins poden ingerir aquests plàstics o també, quedar-hi lligats o atrapats dins d'ells, podent donar lloc a la mort. Per aquest raó, és de gran importància reciclar els plàstics un cop arribin al final de la seva vida útil i no fer-ne una mala disposició. [5][6]

En el últims anys, la població cada cop està més conscienciada d'aquests inconvenients dels materials plàstics i, gràcies a això i a una millora en la gestió d'aquests al final de la seva vida útil, s'ha reduït el nombre de plàstics que acaben en els abocadors. Un altre tema interessant és que els plàstics que siguin difícils de reciclar poden ser emprats com a recuperació d'energia. Com a exemple d'aquest fet està la indústria del ciment, que genera calor a partir dels residus plàstics amb un elevat poder calorífic.

L'any 2012, un 38% dels residus plàstics generats van acabar en els abocadors, mentre que el 26% es van reciclar i el 36% restant es van recuperar mitjançant la recuperació d'energia. Cal continuar reduint el percentatge de residus que arribin als abocadors per tal d'aprofitar i fer un bon ús d'aquests residus. [3][4]

Els plàstics tenen excepcionals propietats i com ja s'ha comentat, això dóna lloc a les múltiples aplicacions, però també s'ha de tenir present l'impacte que ocasiona vers el medi ambient, especialment en els ecosistemes naturals.

5. Anàlisi del cicle de vida (LCA)

L'Anàlisi del cicle de vida o més comunament anomenat en anglès, *Life Cycle Assessment* (LCA) és una eina de gestió ambiental que permet quantificar l'impacte ambiental total d'un producte, procés, servei o activitat on s'hi tenen en compte totes les etapes del cicle de vida d'aquest. Per tant, s'inclouen les etapes des de l'extracció de les matèries primeres fins la gestió dels residus passant a través de la producció, l'ús, entre d'altres. També serveix per trobar noves millores en el camp del medi ambient. [7][8][9]

La idea d'aquesta eina va sorgir durant els anys 60. Des dels anys 70 s'han fet molts esforços per a que tingués un bon i profitós desenvolupament però no va ser fins la dècada dels 90 que aquest mètode es va començar a valorar i a prestar-li l'atenció que es mereixia. A partir de llavors va començar a tenir rellevància com a eina de gestió ambiental a l'hora de prendre decisions a nivell empresarial i públic. D'aquesta manera, existeixen diferents aplicacions per aquesta eina, entre les quals cal destacar: la planificació estratègica i el desenvolupament de l'estratègia ambiental, l'optimització tant del producte com del procés, el disseny i la innovació, la identificació d'oportunitats de millores ambientals i el màrqueting. [7][8]

El LCA consta de diferents etapes que són les que es mostren a la Figura 5.1 i, seguidament, es descriuen cada una d'elles.

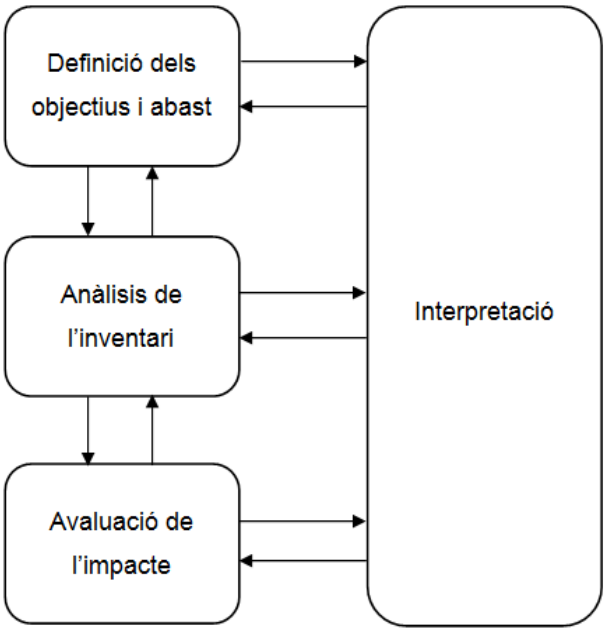

Figura 5.1 Etapes del LCA.

Definició dels objectius i abast

La definició dels objectius ha d'incloure les raons per les quals es dur a terme l'estudi i l'aplicació que se li vol donar. Ha de quedar ben clar a quin públic està previst que es dirigeixi l'estudi i què se n'espera d'aquest.

També és important concretar l'abast de l'estudi per tal d'establir el límits i fronteres necessaris. D'aquesta manera es determinaran quines unitats de processos s'inclouran i quines s'exclouran de l'estudi. Les normes i possibles hipòtesis que s'assumiran són uns altres punts que també s'han de detallar en l'abast de l'estudi. I per últim, és fonamental definir clarament la unitat funcional amb la que es treballarà ja que és la mesura de la funció del sistema estudiat. La seva definició ha de ser precisa perquè pugui ser emprada com a referència.

Donat que tots aquests aspectes esmentats influeixen en la realització de l'estudi, es considera que aquesta és la part més important del LCA.

Anàlisi de l'inventari

L'anàlisi de l'inventari, anomenat *Life Cycle Inventory* (LCI), és la fase que requereix fer una intensa recollida de dades a nivell científic. Per tant, cal especificar totes les activitats relacionades a la producció del producte, començant des de l'extracció de les primeres matèries i els productes intermedis, el producte en sí i el seu ús i per últim, el seu reciclatge. Totes aquestes activitats hauran d'estar ben definides per la unitat funcional.

Avaluació de l'impacte

L'avaluació de l'impacte o el *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) en anglès, es basa en entendre i avaluar la magnitud de l'impacte ambiental de les activitats mencionades en el LCI. Normalment, el LCI consisteix en quatre parts: classificació, caracterització, normalització i valoració. La classificació consisteix en recollir la informació necessària per assignar-li un grup d'impacte concret. Aleshores, en la caracterització ja s'especifica de manera més concreta la magnitud d'aquest impacte. La normalització expressa l'impacte de tal manera que pugui ser comparat i en la valoració s'avalua la importància relativa d'aquest impacte tenint en compte els límits establerts i les etapes anteriors.

Interpretació

La finalitat de la interpretació és avaluar de forma crítica tot el LCA en general i avaluar els resultats obtinguts per arribar a unes determinades conclusions i recomanacions. Aquestes conclusions seran útils a l'hora de prendre decisions.

6. Indicadors ambientals

Un indicador es defineix com un paràmetre que resumeix la informació relativa a algun aspecte determinat. Existeixen diversos tipus d'indicadors, entre els quals figuren els indicadors ambientals. Aquests reflecteixen de manera sintètica una preocupació social referida al medi ambient. Són necessaris per simplificar i quantificar un fenomen de manera que puguin ser útils per la presa de decisions. A més a més, han de constituir una completa i assequible base de consulta per poder abastar un ampli públic. [10][11]

Cal tenir en compte els següents requisits:

- Cal que tinguin una validesa científica precisa i inequívoca donat que estan basats en coneixements científics.
- Han de ser representatius, ja que han de descriure de forma adequada les característiques a les que es refereixen i han de permetre realitzar comparacions a diferents escales territorials i temporals.
- Han de ser simples, clars, específics, no ambigus i comprensibles.
- Les dades necessàries per al càlcul dels indicadors han de ser accessibles i tenir una gran fiabilitat.
- Han de tenir una clara rellevància a nivell nacional, ja sigui a nivell científic com polític i tècnic per tal de ser útils quan s'hagi de prendre alguna decisió.

Els indicadors ambientals tenen uns objectius ben definits:

- Facilitar l'avaluació de la situació ambiental d'un territori o d'una problemàtica concreta i la presa de decisions.
- Proporcionar dades equivalents entre sí a nivell nacional i internacional.
- Obtenir una informació sistemàtica que en faciliti una senzilla comprensió i sigui accessible al públic no expert.

En definitiva, els indicadors ambientals són eines per difondre informació (en tots els nivells) sobre els diferents problemes ambientals existents. Es poden classificar en dos tipus: indicadors d'impacte ambiental i indicadors de sostenibilitat. Alguns d'ells són difícils d'identificar amb claredat a quin tipus pertanyen donat que presenten característiques de tots dos tipus. És per aquest motiu que es poden considerar indicadors d'impacte ambiental i de sostenibilitat al mateix temps. [12] A continuació, es defineixen tots els indicadors estudiats de cada tipus.

6.1. Indicadors d'impacte ambiental

Els indicadors d'impacte ambiental mesuren el grau d'impacte ambiental causat, és a dir, l'efecte originat per una determinada activitat humana sobre el medi ambient. L'ecologia, que estudia la relació entre els éssers vius i el medi ambient, és qui s'encarrega de mesurar aquest impacte i intentar minimitzar-lo.

Aquests indicadors d'impacte ambiental són: l'Eco-indicador '99, els gasos d'efecte hivernacle, el potencial d'esgotament d'ozó, el potencial d'acidificació, el potencial d'eutrofització, el potencial de toxicitat, els efectes respiratoris de components orgànics i inorgànics, els residus tòxics i no tòxics associats a la producció, les emissions aquàtiques i atmosfèriques i el potencial de creació fotoquímica d'ozó (smog fotoquímic). A més, en aquesta categoria també s'hi enclou un indicador econòmic d'impacte ambiental sobre els costos de la contaminació atmosfèrica.

6.1.1. Eco-indicador '99

L'Eco-indicador '99 és un valor que dóna la informació precisa sobre l'impacte ambiental d'un material o procés tenint en compte el *Life Cycle Assessment* (LCA). El mètode de càlcul d'aquest indicador és força complex però permet obtenir un sol número indicatiu de diferents impactes ambientals tenint en compte els següents aspectes:

- Els processos duts a terme per a la producció de materials, des de que se n'extreuen les primeres matèries, es transporten, etc. fins haver finalitzat l'elaboració del material.
- Els processos de generació d'energia requerits i les emissions del procés.
- El transport també ocasiona un cert impacte com poden ser les emissions generades quan s'extreu i es produeix combustible i quan a partir d'aquest es genera energia.
- L'extracció i la producció de combustibles i també, la conversió energètica i la generació d'electricitat.
- Els processos per eliminar els residus originats i el reciclat que varien en funció dels mètodes que s'hagin d'emprar per a dur-ho a terme.

Teòricament, els valors d'aquests indicadors són adimensionals, però a la pràctica s'utilitzen els punts Eco-indicador (Pt) com a unitat de referència. [13]

6.1.2. Gasos d'efecte hivernacle

L'efecte hivernacle és un fenomen natural en què certs gasos retenen part de l'energia solar que rebota a la superfície terrestre. Aquests gasos, els anomenats gasos d'efecte hivernacle, fan que la Terra es mantingui calenta absorbint i retenint la radiació solar.

Els gasos d'efecte hivernacle són el diòxid de carboni, el vapor d'aigua, el metà, els òxids de nitrogen i l'ozó. Tots aquests hi són presents de forma natural, però també n'hi ha d'altres que en són presents degut a les activitats humanes, com és el cas dels gasos clorofluorocarbonats (CFCs). Sense el diòxid de carboni i el vapor d'aigua presents en l'aire, la temperatura mitjana del planeta seria 30 ºC inferior a la temperatura actual. Per tant, aquests dos gasos, i en conseqüència, l'efecte hivernacle, permeten l'existència de vida en el planeta. Altrament, la contaminació és un problema que afecta greument a l'efecte hivernacle donat que incrementa la quantitat d'aquests gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera augmentant així, la temperatura global terrestre. És així com es pot produir un escalfament global de la Terra. Aquest fenomen d'efecte hivernacle es pot veure il·lustrat en la següent Figura 6.1.

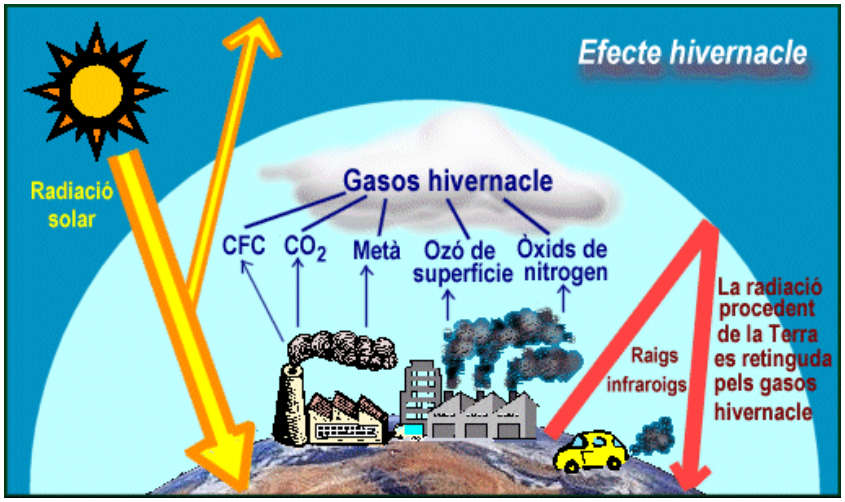

Figura 6.1 L'efecte hivernacle. [14]

En definitiva, els gasos d'efecte hivernacle com a indicador permeten saber l'impacte ambiental que originen en tot el planeta. S'acostuma a mesurar en quilograms o metres cúbics. [14]

6.1.3. Potencial d'esgotament d'ozó

La capa d'ozó, que es troba a l'estratosfera, és un filtre que absorbeix la radiació ultraviolada, però pot ser destruïda originant-se el forat de la capa d'ozó.

Els components químics que contenen clor o brom, com són els halògens, el cloroform de metil i els clorofluorocarbonats tenen la capacitat d'arribar fins a l'estratosfera. Un cop es descomponen a l'atmosfera, s'allibera el clor o brom i s'ataca la capa d'ozó ja que cada àtom alliberat reacciona amb l'ozó sota l'acció de catalitzadors dels rajos ultraviolats provocant la descomposició de l'ozó.

Per tant, el potencial d'esgotament d'ozó és un indicador que dóna informació de la quantitat de destrucció d'ozó causat per dites substàncies i es mesura en quilograms de CFC-11 equivalent. [15][16][17][18]

6.1.4. Potencial d'acidificació

El potencial d'acidificació mesura l'impacte que causen les emissions humanes de substàncies acidificants (per exemple, CO_2, SO_2, NO_X, NH_X) en les aigües superficials i subterrànies del subsòl, en els organismes biològics, en els ecosistemes i en les infraestructures. Les substàncies acidificants fan augmentar la concentració de ions hidrogen i això fan disminuir-ne el pH. Per tant, aquesta acidificació provoca l'alteració de l'equilibri químic de l'ecosistema produint-se una pèrdua de la productivitat del sòls i de la biodiversitat de les espècies.

Aquest potencial es mesura en quilograms de SO_2 equivalent. [15][17][18]

6.1.5. Potencial d'eutrofització

Un alt nivell d'enriquiment de macronutrients, els més importants dels quals són nitrogen i fòsfor, pot donar lloc a l'eutrofització, que és l'augment del subministrament de matèria orgànica d'un ecosistema aquàtic. Per tant, es produeix un creixement massiu d'algues i d'altres espècies vegetals que originen una disminució del contingut d'oxigen. Pot tenir greus conseqüències en molts organismes ja que necessiten viure en aigües riques en oxigen. La manca d'aquest els pot causar la mort i també originar l'enterboliment i putrefacció de l'aigua.

L'eutrofització es pot donar per causes naturals o bé, per causes antropogèniques ja que l'acció humana pot accelerar aquest procés mitjançant l'abocament de residus urbans, que

continguin detergents, i residus ramaders i agrícoles que aporten fertilitzants, i residus amb un alt contingut de fosfats i nitrats.

El potencial d'eutrofització es mesura en quilograms de fosfat equivalent. [15][17][18][19]

6.1.6. Potencial de toxicitat

La toxicitat d'una determinada substància és la capacitat que té dita substància per ser verinosa o perjudicial en entrar en contacte amb un ésser viu. Per tant, el potencial de toxicitat en mesura el grau de toxicitat. Nombrosos processos que es realitzen a les indústries requereixen de substàncies perilloses o tòxiques per la població i els ecosistemes. Es poden distingir diferents tipus de toxicitat en funció de qui pugui veure's afectat: salut humana, medi aquàtic i terrestre ja que una substància pot ser més nociva en un medi que en un altre. Conseqüentment, hi ha ecotoxicitat terrestre i aquàtica que es refereix als efectes dels productes químics en éssers vius no humans i la toxicitat humans que sí afecta als humans. Aquests potencials es mesuren en quilograms de 1,4-diclorbenzè (DCB) equivalents. [15][20]

Ecotoxicitat aquàtica

L'ecotoxicitat aquàtica representa els diferents efectes perjudicials que poden patir els organismes d'un determinat medi aquàtic davant de l'exposició d'una substància nociva. [15][20][21]

Ecotoxicitat terrestre

Aquest indicador mesura el grau de toxicitat en què una certa substància pot ser tòxica pels éssers vius d'un determinat ecosistema terrestre davant, també, de l'exposició d'una substància nociva. [15][20]

Toxicitat humana

També cal diferenciar i estudiar l'impacte que una substància pot causar sobre la salut humana. Per això existeix aquest indicador, per mesurar els possibles efectes adversos de certes substàncies davant la seva exposició a les persones. També hi ha estudis que diferencien aquesta toxicitat tenint en compte si les substàncies són carcinògenes o no, és a dir, si poden causar càncer o no. [15][20]

6.1.7. Efectes respiratoris de components orgànics i inorgànics

Les partícules suspeses a l'aire formen una mescla de substàncies orgàniques i inorgàniques. La composició química d'aquestes partícules és molt variada i complexa. Principalment, les emissions de partícules cap a l'aire són ocasionades per la crema de combustibles. Respirar aquest aire pot afectar greument a la salut humana provocant asma, càncer de pulmó, problemes cardiovasculars i possiblement la mort prematura.

Els efectes respiratoris de components orgànics es mesuren en quilograms d'etilè equivalent i els inorgànics, tenint en compte que el diàmetre mitjà de la partícula sigui inferior a 2,5 micròmetres, és a dir, es mesura en quilograms de PM 2,5 equivalents. [21]

6.1.8. Residus tòxics i no tòxics associats a la producció

Al llarg de tota la fabricació d'un cert producte es generen quantitats de residus que caldrà que siguin transportats, valorats i processats per reutilitzar-los o bé dipositar-los en els abocadors o incinerar-los. Aquests residus, que poden ser tòxics o no, provoquen un cert impacte en el medi ambient. És per això que són un altre indicador d'impacte ambiental. Les unitats emprades són els quilograms. [22]

6.1.9. Emissions aquàtiques i atmosfèriques

La quantitat de contaminant que arriba en un determinat medi s'anomena emissió. Les emissions de fluids gasosos, fluids líquids o bé amb substàncies en suspensió (pols i partícules) ja sigui a l'atmosfera o en medis aquàtics poden perjudicar greument el medi. Donat que s'està contaminant el medi amb aquestes substàncies, això tindrà un cert impacte ambiental que caldrà estudiar.

Les emissions atmosfèriques de pols i partícules es refereixen principalment, a l'alliberament de partícules provinents dels processos de combustió. Es tenen en compte partícules amb un diàmetre mitjà inferior a 10 micròmetres i això donarà lloc a les unitats en què es mesura (quilograms PM 10 equivalents). La resta d'emissions atmosfèriques i les emissions aquàtiques es mesuren en quilograms. [15][20][23]

6.1.10. Potencial de creació fotoquímica d'ozó (smog fotoquímic)

L'smog, present a l'atmosfera, és una mescla de fum, boira i altres partícules que es troba en llocs on la contaminació és bastant elevada. En circumstàncies d'altres pressions associades a una forta insolació i vents dèbils que dificulten la dispersió dels contaminants dèbils, es produeix l'smog fotoquímic. Aquest es caracteritza per tenir un alt contingut d'oxidants, hidrocarburs oxidats i partícules àcides que produeixen irritacions al coll, als ulls i també fa empitjorar la visibilitat. Aquest tipus de contaminació, anomenat contaminació fotoquímica és una conseqüència directa de la formació d'oxidants fotoquímics a l'atmosfera generada per les emissions humanes. Els òxids de nitrogen, els hidrocarburs i l'oxigen en presència de la radiació ultraviolada reaccionen per formar aquests oxidants, entre els quals hi destaca l'ozó troposfèric. Aquests oxidants fotoquímics són contaminants secundaris, ja que no són emesos sinó que s'han format a l'atmosfera.

Aquest fenomen de formació d'ozó troposfèric es mesura amb l'indicador del potencial de creació fotoquímica d'ozó. Pretén avaluar l'impacte que suposa aquesta formació d'smog utilitzant com unitats els quilograms d'etilè equivalent. [20][24][25]

6.1.11. Costos de la contaminació atmosfèrica

Aquest indicador de costos és un tipus d'indicador econòmic: mesura els danys que ocasiona la contaminació atmosfèrica a la salut i al medi ambient i ho quantifica monetàriament. Per això, s'utilitzen certs mètodes per poder estimar aquests costos i té en compte uns determinats contaminants: [26]

- Els principals contaminants presents a l'aire: amoníac, òxids de nitrogen, compostos orgànics volàtils a excepció del metà, òxids de sofre, partícules amb un diàmetre mitjà inferior a 10 micròmetres.
- Els metalls pesants com l'arsènic, el cadmi, el plom, el crom, el mercuri i el níquel.
- Els compostos orgànics: benzè, hidrocarburs aromàtics policíclics, dioxines i furans.
- El diòxid de carboni.

6.2. Indicadors de sostenibilitat

Els indicadors de sostenibilitat permeten determinar la capacitat que té un element, sistema o procés per mantenir-se actiu i productiu al llarg del temps.

Els indicadors de sostenibilitat són els següents: la petjada ecològica, el potencial d'escalfament global, el potencial d'esgotament dels recursos abiòtics, el material requerit i material subjecte a reciclatge.

6.2.1. Petjada ecològica

La petjada ecològica es pot definir com l'àrea de territori ecològicament productiu (ja siguin cultius, pastures, boscos o ecosistemes aquàtics) necessària per a produir els recursos utilitzats i per assimilar els residus originats per una determinada població en una certa situació geogràfica. Per tant, és una eina útil per analitzar la demanda dels recursos de la natura per part de la humanitat. La petjada ecològica es mesura en unitats de superfície, concretament, en hectàrees. [25]

Si es tenen en compte els sis tipus d'usos de la terra per a les activitats humanes, la petjada ecològica es pot desglossar de la següent manera:

Petjada de carboni: s'estima com la quantitat d'hectàrees forestals necessàries per absorbir les emissions de diòxid de carboni que provenen de la combustió de combustibles fòssils, dels canvis en els usos del sòl i processos químics. Aquesta petjada sovint s'acostuma a expressar en quilograms de CO_2, aleshores, caldrà utilitzar una equivalència per obtenir la petjada en hectàrees (1 ha = 4404 kg CO_2). [27]

Petjada de les terres de pasturatge: es calcula a partir de l'àrea que empra el bestiar a la seva alimentació.

Petjada forestal: es calcula com la superfície de boscos necessària per produir productes que provinguin d'origen forestal com la fusta i la llenya.

Petjada de les zones pesqueres: es computa a partir de la superfície marina requerida per a la obtenció de peix per al consum.

Petjada dels cultius: calculada a partir de l'àrea que s'utilitza per produir aliments i fibra per al consum humà i per al bestiar.

Petjada de la terra urbanitzada: s'estima a partir de l'àrea de terra ocupada per infraestructures humanes, incloent-hi el transport, habitatges i estructures industrials. [25][28]

6.2.2. Potencial d'escalfament global

L'escalfament global de la Terra es defineix com l'augment de la temperatura mitjana del planeta causat pels gasos d'efecte hivernacle. L'alliberament massiu de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera incrementa l'efecte hivernacle i aleshores, l'atmosfera reté més energia i s'escalfa excessivament. Aquest escalfament global del planeta pot ocasionar el canvi climàtic del mateix, en què les temperatures, precipitacions i altres elements del sistema climàtic es vegin afectats a llarg termini. Per aquest motiu és un problema que causa molta preocupació.

Els efectes que provoca aquest impacte són avaluats per l'indicador del potencial d'escalfament global. Les unitats amb les quals es mesura són quilograms de CO_2 equivalents. [14][15][17]

6.2.3. Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics

Els recursos abiòtics són recursos naturals que no es consideren éssers vius i que afecten directament a la vida animal i vegetal, conjuntament amb els éssers vius formen l'ecosistema. Per exemple, el petroli cru, l'energia eòlica i el mineral de ferro són exemples de recursos abiòtics; en definitiva, els recursos energètics que poden ser explotats per l'home.

El potencial d'esgotament dels recursos abiòtics és un indicador que valora la disminució de la disponibilitat d'aquests recursos i es mesura en quilograms d'antimoni equivalent. [15][17][18][29]

6.2.4. Material requerit

El material necessari per produir un cert producte també es pot catalogar com un indicador. És important saber les quantitats de material que s'hauran d'emprar per tal de saber quin impacte causarà això. Aquest indicador té per unitats els quilograms. [15]

6.2.5. Material subjecte a reciclatge

Aquest indicador dóna informació sobre la quantitat total de material que es recicla un cop

un objecte, dispositiu, màquina, etc. arriba a la fi de la seva vida útil. Les unitats d'aquest indicador són els quilograms. [15]

6.3. Indicadors d'impacte ambiental i sostenibilitat

Com ja s'ha esmentat anteriorment, existeixen indicadors que tant podrien pertànyer a indicadors d'impacte ambiental com a indicadors de sostenibilitat. Aquests són el consum d'energia, el consum d'aigua i el consum de petroli.

6.3.1. Consum d'energia

L'indicador del consum d'energia determina el consum total d'energia necessària per a produir un cert producte o servei. Inclou tant les energies no renovables (combustibles fòssils i nuclear) com les no renovables. Aquests consums solen ser elevats i les unitats per definir-lo són els MJ. [15]

6.3.2. Consum d'aigua

L'indicador del consum d'aigua expressa la quantitat d'aigua requerida per a dur a terme la producció d'un producte o servei. Aquest indicador es mesura en quilograms d'aigua consumida. [15][30]

6.3.3. Consum de petroli

Aquest indicador quantifica el consum de petroli necessari per a produir un determinat producte o servei. Es pot mesurar en quilograms de petroli consumit. [15]

7. Mètodes experimentals per determinar la sostenibilitat

Tenint en compte que la majoria dels components orgànics que formen part dels materials polimèrics provenen del petroli, importants organismes encarregats d'elaborar normes creien necessari conèixer el contingut de base biològica dels plàstics. Per això, en els darrers anys s'han desenvolupat certs estàndards per determinar-ne aquest contingut: ASTM D6866, CEN/TS 16137 i ISO 16620. A continuació, s'expliquen els dos primers mètodes esmentats. [31][32]

7.1. ASTM D6866

El mètode ASTM D6866 va ser el primer publicat, l'any 2004 per l'organisme de normalització dels Estats Units ASTM (*American Society for Testing and Materials*), sota el títol "Mètode de prova estàndard per determinar el contingut de base biològica de mostres sòlides, líquides i gasoses utilitzant l'anàlisi del carboni-14".

L'anàlisi del carboni-14 permet saber la quantitat de carboni-14 provinent de la biomassa i d'aquesta manera, diferenciar-lo del carboni d'origen fòssil. Aleshores, es pot calcular el percentatge de carboni originari de recursos renovables sobre el total de carboni de la mostra.

Cal tenir en compte que aquesta tècnica no mesura la biodegradabilitat del material. Un bioplàstic, que s'explica més endavant (veure apartat 8), no ha de ser necessàriament biodegradable, ja que són conceptes ben diferents.

Els experts ràpidament van adonar-se que la determinació del contingut de carboni de base biològica només era viable i exacta si es feia a partir de l'anàlisi del carboni-14. És per aquest motiu que en la indústria dels bioplàstics és una tècnica molt utilitzada. [31][32]

7.2. CEN/TS 16137

El CEN/TS 16137 va ser publicat l'any 2011 per l'organització europea CEN (*Comité Européen de Normalisation*) rebent el nom de "Plàstics, determinació del contingut de carboni de base biològica".

Aquesta tècnica exposa el mètode de càlcul per determinar-ne aquest contingut en qualsevol tipus de polímers que continguin carboni orgànic, incloent també els bicompostos. Per dur-ho a terme es realitza el mètode d'anàlisi del carboni-14 descrit en l'estàndard europeu EN 15440 i en l'abans mencionat ASTM D6866. Defineix el contingut de carboni de base biològica com la quantitat de carboni que és present en una mostra determinant l'edat del material plàstic corresponent. [31][32]

8. Els plàstics convencionals

Els plàstics són aquells compostos orgànics polimèrics obtinguts per síntesi o bé procedents de substàncies naturals. Són macromolècules, orgàniques en la majoria dels casos i estan formades per monòmers, repeticions de simples unitats químiques moleculars. Com ja ho indica la mateixa paraula, els plàstics són substàncies amb la capacitat de ser deformades amb tan sols aplicar-hi una força relativament petita. [33]

Generalment els plàstics solen ser incolors, tenaços, rígids, durs, lleugers... Tenen els avantatges que ni es podreixen ni s'oxiden i tendeixen a ser econòmics. Tot i així, aquestes propietats poden veure's modificades si se'ls afegeixen additius per millorar-ne les seves característiques. Els plàstics són un tipus de material àmpliament emprats a nivell mundial ja que presenten des d'aplicacions en les indústries de consum fins a aplicacions en la construcció i en el sector industrial. Això és gràcies a les seves bones propietats.

Com s'ha mencionat anteriorment, en funció de l'origen dels polímers, aquests es poden classificar en polímers naturals, si existeixen en la pròpia natura; polímers sintètics, si s'obtenen industrialment a partir de monòmers; i polímers semi-sintètics, si s'obtenen a partir de polímers naturals. [34]

Els plàstics sintètics o també anomenats plàstics convencionals es poden obtenir a partir del petroli, del gas natural o del carbó. Però la majoria dels plàstics que es comercialitzen provenen del petroli. Això comporta certs inconvenients, com per exemple, presenten una gran resistència a la degradació biològica i ambiental. Per tant, en general els plàstics convencionals no són biodegradables i poden trigar més de 500 anys en degradar-se per complet. A més, el seu procés d'elaboració produeix contaminació i durant la degradació es poden alliberar productes nocius. Altres desavantatges dels plàstics tradicionals són el gran consum de petroli requerit per a la seva producció i els efectes que poden causar en els organismes vius si aquests s'alliberen en rius, llacs o mars. Per evitar o reduir-ne almenys la contaminació, és recomanable reutilitzar els productes de plàstic fins que la seva vida útil ho permeti i un cop finalitzada reciclar-los. [34]

Ara bé, tenint en compte que els plàstics sintètics provenen de recursos naturals finits i no són biodegradables, s'està experimentant en altres alternatives: els bioplàstics.

Els bioplàstics poden ser plàstics derivats de la biomassa, biodegradables o ambdues opcions. Els bioplàstics derivats de la biomassa són polímers sintetitzats a partir de monòmers obtinguts de productes vegetals com del midó, la glucosa o els olis de productes com el blat de moro, les patates, la canya de sucre o l'arròs. Els bioplàstics biodegradables tenen la capacitat de ser descompostos en presència de certs microorganismes al final de la seva vida útil. Per últim, els bioplàstics biodegradables i alhora derivats de la biomassa compleixen les dues característiques ja descrites. [35][36]

En la següent Figura 8.1 es pot veure aquesta classificació i on estarien situats els plàstics convencionals.

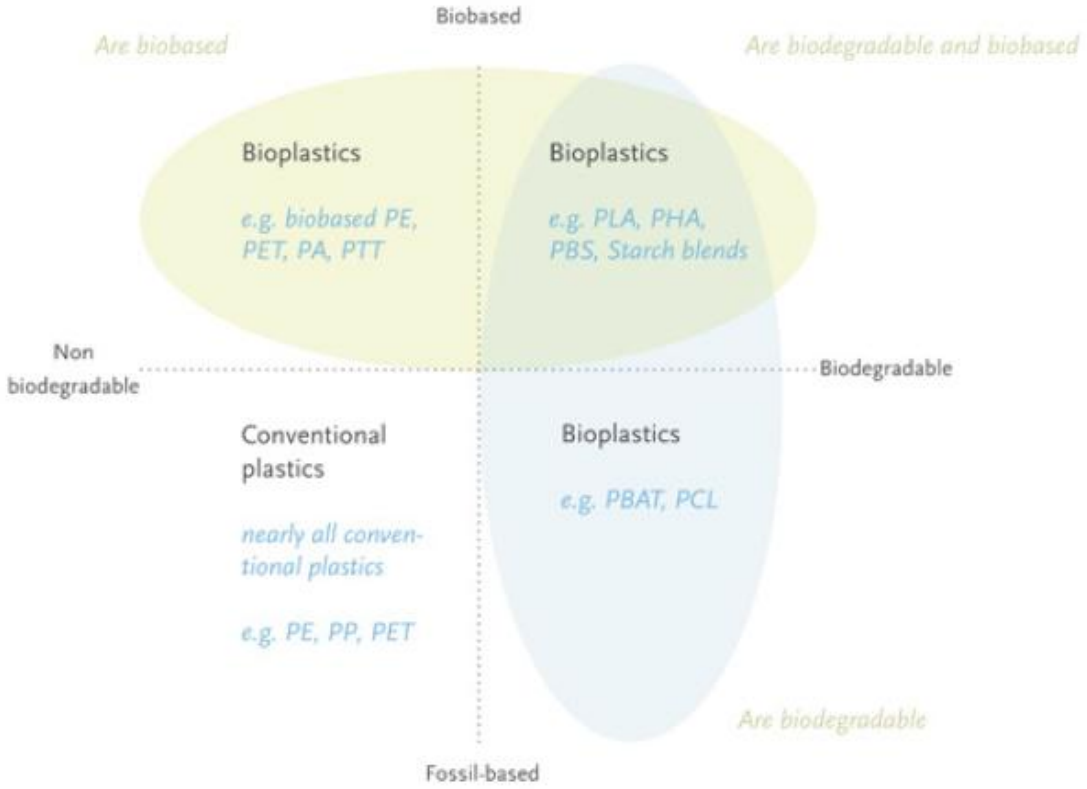

Figura 8.1 Esquema dels plàstics convencionals i dels bioplàstics. [36]

En aquest projecte, els plàstics convencionals que s'estudien, com ja s'ha esmentat amb anterioritat, són els següents: policlorur de vinil (PVC), poliestirè (PS), polipropilè (PP), polietilè (PE) i polietilè de tereftalat (PET).

8.1. Poliestirè (PS)

El poliestirè (PS) és un polímer termoplàstic obtingut a partir de la polimerització de l'estirè. A continuació, es mostra la seva formula molecular:

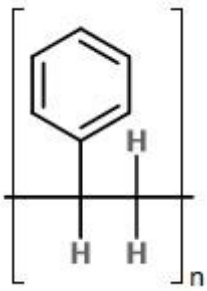

Figura 8.2 Estructura del poliestirè.

El poliestirè té una densitat de 1,05 g/cm^3 i es caracteritza per ser un plàstic resistent a l'aigua i també presenta una elevada resistència mecànica. És un bon aïllant acústic, tèrmic i elèctric. A més a més, és rígid, dur i presenta una llarga durabilitat. Per aquests motius, és un plàstic molt demandat i presenta moltes aplicacions. [34][37][38]

Existeixen quatre tipus de poliestirens, que són els següents:

Poliestirè cristall

Aquest tipus de poliestirè, també anomenat poliestirè d'ús general (GPPS) i que es pot observar en la Figura 8.3, és transparent i rígid, però trencadís. Aquest plàstic s'utilitza per a la fabricació de caixes de CDs, penjadors i caixes pels ous.

Figura 8.3 Aspecte del poliestirè cristall. [39]

Poliestirè d'alt impacte

El poliestirè d'alt impacte (HIPS) és opac i és el més resistent de tots els tipus de poliestirens. Les següents aplicacions són exemples de productes fets a partir d'aquest tipus de poliestirè: carcasses de televisors, impressores, portes i interiors de neveres, joguines, entre d'altres. En la Figura 8.4 se'n pot apreciar el seu aspecte.

Figura 8.4 Aspecte del poliestirè d'alt impacte. [40]

Poliestirè expandit

El poliestirè expandit (EPS) o també anomenat porexpan és molt lleuger, un excel·lent aïllant tèrmic i té una alta capacitat de protecció. El seu aspecte i la seva forma es poden apreciar en la Figura 8.5. Degut a les característiques que té, és molt habitual el seu ús per envasar i embalar diferents productes (alimentació, electrodomèstics, components electrònics, eines i mobles).

Figura 8.5 Aspecte del poliestirè expandit. [41]

Poliestirè extruït (XPS)

Aquest últim tipus s'assembla molt al poliestirè expandit però és més dens i impermeable. En la Figura 8.6 es veu com és aquest tipus de poliestirè. És un plàstic amb moltes aplicacions en el camp de la construcció, especialment té un ús molt elevat en aïllament de terres i en càmeres frigorífiques.

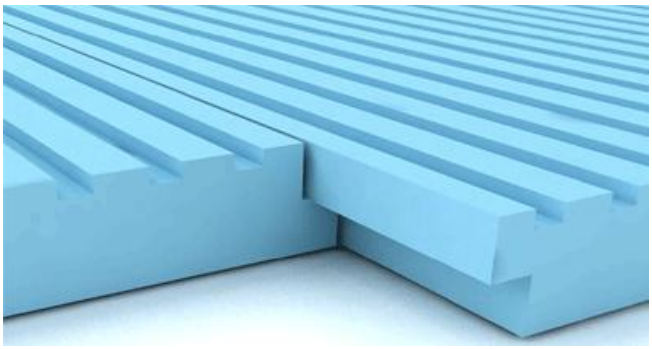

Figura 8.6 Aspecte del poliestirè extruït. [42]

8.2. Polipropilè (PP)

El polipropilè és un polímer termoplàstic format a partir de la polimerització del propilè i que la seva formula molecular és la següent:

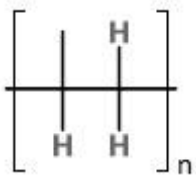

Figura 8.7 Estructura del polipropilè.

Aquest termoplàstic té una densitat de 0,9 g/cm^3 i té un punt de fusió elevat. Es caracteritza per ser lleuger i rígid i presenta una elevada tenacitat i duresa. A més, és resistent a la fatiga per flexió, a la calor, a la humitat i als productes químics. A continuació, en la Figura 8.8 es pot veure l'aspecte del polipropilè.

Figura 8.8 Aspecte del polipropilè. [43]

El polipropilè és el segon termoplàstic més important i és prou econòmic. Presenta un gran ventall d'aplicacions, com per exemple, envasat d'aliments, utensilis de cuina i domèstics, components automobilístics, teixits i dispositius mèdics. [22][37][44]

.

8.3. Polietilè (PE)

El polietilè és el polímer termoplàstic més simple que existeix format per la polimerització de l'etilè. La seva formula és la següent:

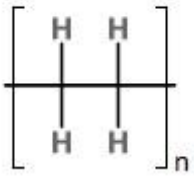

Figura 8.9 Estructura del polietilè.

El polietilè és un dels plàstics més comuns ja que és molt simple i molt econòmic. Per aquest motiu se'n fabriquen grans quantitats a nivell mundial. [45][46]

Segons les condicions de polimerització es poden diferenciar tres tipus de polietilè:

Polietilè d'alta densitat

El polietilè d'alta densitat (HDPE) es forma a pressions baixes. La seva densitat està entre l'interval de 0,95 i 0,985 g/cm^3. És el més rígid i menys flexible dels tres tipus de polietilens existents i presenta un grau baix de ramificacions, per tant, té unes fortes forces intermoleculars i una elevada resistència a la tracció. Té una gran resistència a l'impacte i a productes químics i també una baixa absorció a la humitat. A la Figura 8.10 se'n pot veure el seu aspecte i forma.

Figura 8.10 Aspecte del polietilè d'alta densitat. [47]

Ofereix nombroses aplicacions: productes i envasos com gerres de llet, ampolles de detergent; algunes joguines, contenidors d'escombraries, caixes de lots d'ampolles i canonades d'aigua. [45]

Polietilè de baixa densitat

Pel contrari del polietilè d'alta densitat, el polietilè de baixa densitat (LDPE) es forma a altes pressions. La seva densitat està entre l'interval de 0,915 i 0,94 g/cm^3. Aquest polímer es caracteritza per tenir moltes ramificacions i per aquest motiu les forces intermoleculars són menys fortes. És un material dúctil però al mateix temps la resistència a la tracció és menys elevada que en el cas del polietilè d'alta densitat. A la Figura 8.11 es pot observar com és el polietilè de baixa densitat.

Figura 8.11 Aspecte del polietilè de baixa densitat. [48]

S'empra per a la fabricació d'envasos rígids, bosses, galledes, envasos de productes de bany, aïllament de cables elèctrics, entre d'altres. [45]

Polietilè de baixa densitat lineal

De la polimerització de l'etilè amb alquè a baixes pressions en resulta el polietilè de baixa densitat lineal (LLDPE), que es pot veure a la Figura 8.12. Presenta una densitat que està dins de l'interval entre 0,915 i 0,925 g/cm^3. És un polímer lineal però amb certes ramificacions curtes. Presenta una duresa i flexibilitat elevades i és bastant transparent.

Figura 8.12 Aspecte del polietilè de baixa densitat lineal. [49]

Els usos principals que presenta són en films per a bosses i làmines, recobriment de cables elèctrics, joguines, tapes, canonades i recipients. [45]

8.4. Polietilè de tereftalat (PET)

El polietilè de tereftalat, més conegut com PET, és un plàstic termoplàstic polièster que la seva estructura molecular és la següent:

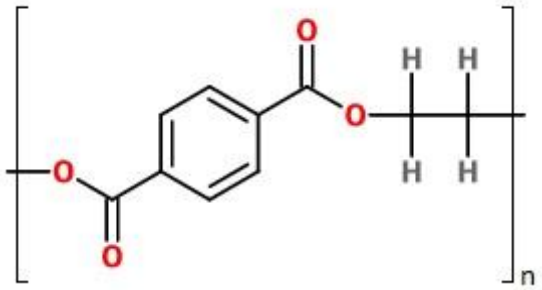

Figura 8.13 Estructura del polietilè de tereftalat.

El polietilè de tereftalat, amb una densitat de 1,35 g/cm^3, és un plàstic clar i transparent i això fa que sigui brillant. Tot i així, se li poden aplicar colorants. Presenta diverses característiques: és lleuger, té una bona resistència química, tèrmica al desgast i a la corrosió. És un plàstic amb una alta rigidesa i duresa i és un excel·lent protector dels agents externs, com olors, gasos i humitat.

Les propietats físiques del PET són el motiu pel qual aquest plàstic presenta un gran ventall d'aplicacions, que les més destacades i importants són els envasos, films i fibres.

Gràcies a la seva impermeabilitat als gasos, que no deteriora ni fa malbé el producte i també per la seva durabilitat i estabilitat a la intempèrie es pot fer servir aquest plàstic per fabricar envasos. Aquests són emprats per a begudes carbonatades, aigua, oli, aliments i conserves, productes farmacèutics i químics i detergents.

Aquest plàstic es fa servir en gran quantitat per a la fabricació de film per produir blisters, i bosses per envasar aliments, cosmètics i medicaments. També té un ús molt alt en el sector tèxtil per a l'elaboració de moltes peces de vestir, teles, cordills i catifes. A més a més, presenta aplicacions més específiques en el camp de les indústries mecànica i electrònica. [50][51]

8.5. Policlorur de vinil (PVC)

El policlorur de vinil és un polímer termoplàstic format a partir de la polimerització del monòmer de clorur de vinil. La seva formula molecular és la següent:

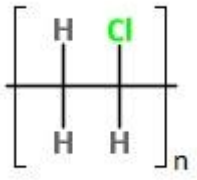

Figura 8.14 Formula estructural del PVC.

Aquest plàstic és de color blanc o transparent, la seva forma és esfèrica i té una densitat de 1,5 g/cm^3. Presenta unes propietats físiques excel·lents ja que és un plàstic amb una resistència, rigidesa i duresa mecàniques elevades. És insoluble en aigua i a més, és impermeable a gasos i líquids i bon aïllant elèctric. [34][37][44]

El cost de producció del PVC, molt utilitzat a la vida diària, és prou baix ja que la seva producció no és difícil. Existeixen tres tipus de policlorurs de vinil en funció del tipus de polimerització que es realitzi per a la seva fabricació:

PVC en suspensió

Aquest tipus de policlorur de vinil es produeix a partir de la polimerització en suspensió. Consisteix en agitar el plàstic en estat líquid per a que es dispersi en petites gotes i mantenir-les així en suspensió. Per garantir aquesta suspensió i que les partícules no s'aglomerin són necessaris afegir uns agents de suspensió.

Es caracteritza per ser el PVC més rígid de tots. Cal destacar que és el més comú dels tres tipus existents, ja que engloba un 80% de les aplicacions totals del PVC. Degut a la seva alta rigidesa s'utilitza per a la fabricació de làmines dures, tubs, canonades, mànegues de jardí i materials de construcció com rajoles. Es pot emprar per a aïllament de cables elèctrics, làmines toves i productes mèdics si es plastifica i així s'aconsegueix un plàstic més flexible. [34][52]

PVC en emulsió

En la polimerització en emulsió, primerament el clorur de vinil es dispersa en aigua amb l'ajuda de tensioactius. El monòmer queda atrapat dins de micel·les de sabó i la

polimerització es pot començar afegint iniciadors solubles en aigua.

Els principals usos d'aquest plàstic són recobriments, per exemple teixits i roba impermeable. [34][53]

PVC en massa

El PVC en massa format a partir de la polimerització en massa, es produeix en absència d'aigua i d'agents de suspensió o emulsió. Tenint en compte que el monòmer és insoluble en aigua, el polímer precipitarà en forma de grans.

No presenta un gran ventall d'aplicacions, però es fa servir especialment per ampolles. [34][54]

9. Fonts bibliogràfiques i bases de dades

Per dur a terme aquest projecte ha estat necessari fer una recerca de dades bibliogràfiques en diverses fonts i bases de dades. Aquesta recerca ha consistit en trobar valors dels indicadors ambientals anteriorment descrits pels cinc plàstics convencionals escollits.

Les bases de dades utilitzades han estat les següents:

- Sciencedirect
- Gaby
- PlasticsEurope
- Google scholar

Gràcies a aquestes bases de dades, s'ha extret molta informació necessària per dur a terme la memòria. En especial, per a cada plàstic s'han trobat una o dues fonts bibliogràfiques útils on apareixen valors d'indicadors ambientals, que no han estat fàcils de trobar.

10. Resultats

La realització de la recerca bibliogràfica ha permès recollir una sèrie de valors d'indicadors ambientals pels diferents plàstics convencionals. Per a cada plàstic s'han trobat una, dues o tres fonts bibliogràfiques i s'han organitzat les dades en una fulla de càlcul per poder fer-ne una anàlisi. Cada dada tindrà les seves corresponents unitats en funció de l'indicador que sigui, però totes estan referides a un quilogram de plàstic produït (unitat indicador corresponent/kg de plàstic).

A continuació, per a cada plàstic es presenten les diferents fonts trobades, els indicadors seleccionats, les dades analitzades i la interpretació d'aquestes.

10.1. Poliestirè (PS)

10.1.1. Fonts trobades

La primera font trobada és un llibre que pretén donar una clara explicació sobre el concepte de la sostenibilitat i conèixer exemples de materials plàstics sostenibles. Tracta diversos temes com les preocupacions mediambientals que existeixen a les indústries, les causes de l'escalfament global de la Terra, l'avaluació del cicle de vida i el futur dels plàstics sostenibles. Es defineixen els plàstics biodegradables, els reciclables i els bioplàstics i s'estudia el cicle de vida de diversos exemples de plàstics.
En aquesta font es troben dades del poliestirè cristall (GPPS), del polipropilè (PP), del polietilè d'alta densitat (HPDE) i del polietilè de tereftalat (PET). El consum d'energia, la petjada de carboni i els residus associats a la producció són els tres indicadors que s'estudien en aquest llibre per al diferents plàstics esmentats.

La segona font bibliogràfica correspon a un article que avalua l'impacte ambiental de la producció d'uns recipients per empaquetar maduixes. S'estudien recipients fabricats a partir de tres plàstics diferents: PLA, PS i PET. Aquesta avaluació de l'impacte es fa a partir dels indicadors següents: potencial d'escalfament global, potencial d'acidificació, potencial d'esgotament d'ozó, potencial d'eutrofització, efectes respiratoris de components orgànics i inorgànics, l'ecotoxicitat aquàtica, la petjada de cultius i el consum d'energia.

La tercera font trobada és extreta d'una base de dades de plàstics i fa un extens estudi del poliestirè. Exposa les diferents propietats i característiques, així com la diversitat d'aplicacions que presenta. Dels quatre tipus de poliestirens que existeixen, se'n tracten dos: el poliestirè cristall i el poliestirè d'alt impacte. S'avalua l'impacte ambiental associat a la producció de cada un d'ells. Per això, fa ús dels indicadors del consum d'energia, el consum d'aigua, les emissions atmosfèriques i aquàtiques, els residus associats a la producció, el potencial d'esgotament d'ozó, el potencial d'escalfament global, el potencial d'acidificació, el potencial d'eutrofització, el potencial d'esgotament d'ozó i el potencial de creació fotoquímica d'ozó.

10.1.2. Indicadors seleccionats

Amb la recerca de les tres fonts anteriors mencionades, per estudiar el poliestirè es tenen els següents indicadors ambientals:

Taula 10-1 Indicadors ambientals seleccionats pel poliestirè.

Impacte ambiental	Sostenibilitat	Impacte ambiental i sostenibilitat
Ecotoxicitat aquàtica Efectes respiratoris de components inorgànics i orgànics Emissions aquàtiques i atmosfèriques Potencial d'acidificació Potencial d'esgotament d'ozó Potencial d'eutrofització Potencial de creació fotoquímica d'ozó Residus tòxics i no tòxics associats a la producció	Petjada de carboni Petjada de cultius Potencial d'escalfament global Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	Consum d'aigua Consum d'energia

10.1.3. Dades

En les taules que es presenten a continuació, es poden apreciar les diferents dades per tots els indicadors. Les dades corresponents al GPPS es troben a la Taula 10-2: tots els valors de les mitjanes, així com els corresponents als mínims, màxims, desviacions estàndards i variàncies quan s'esqueien. Les dades del HIPS apareixen a la Taula 10-3, però no s'han pogut realitzar càlculs estadístics ja que només s'ha trobat una font possible.

Taula 10-2 Anàlisi dels indicadors ambientals pel GPPS.

Indicadors ambientals	**Unitats**	**Font 1** [37]	**Font 2** [21]	**Font 3** [55]	**Mitja**	**Mínim**	**Màxim**	**Desviació estàndard**	**Variància**
Ecotoxicitat aquàtica	kg TEG eq			385,79					
Efectes respiratoris de components inorgànics	kg PM 2,5 eq			2,94E-03	2,94E-03				
Efectes respiratoris de components orgànics	kg etilè			2,32E-03	2,32E-03				
Emissions aquàtiques	kg		2,39E-04		2,39E-04				
Emissions atmosfèriques: gasos	kg		2,07		2,07				
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq		1,50E-04		1,50E-04				
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq		5,38E-03	2,02E-03	3,70E-03	2,02E-03	5,38E-03	2,37E-03	5,63E-06
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq		1,63E-08	3,15E-09	9,72E-09	3,15E-09	1,63E-08	9,30E-09	8,65E-17
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq		4,80E-04	9,71E-06	2,45E-04	9,71E-06	4,80E-04	3,33E-04	1,11E-07
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq		8,50E-04		8,50E-04				
Residus associats a la producció	kg	0,11	7,96E-04		5,54E-02	7,96E-04	0,11	7,72E-02	5,96E-03
- No tòxics	kg		3,39E-04		3,39E-04				
- Tòxics	kg		4,57E-04		4,57E-04				
Petjada de carboni	ha	7,36E-04			7,36E-04				
Petjada de cultius	ha			8,68E-09	8,68E-09				
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq		2,25	3,02	2,63	2,25	3,02	0,54	0,29
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq		9,21E-07		9,21E-07				
Consum d'aigua	kg		708,37		708,37				
Consum d'energia	MJ		82,78		82,78				
- Renovable	MJ		0,52		0,52				
- No renovable	MJ	95,20	82,26	104,88	94,11	82,26	104,88	11,34	128,80

Taula 10-3 Anàlisi dels indicadors ambientals pel HIPS.

Indicadors ambientals	Unitats	Font 1	Font 2 [21]	Font 3	Mitjana	Mínim	Màxim	Desviació estàndard	Variància
Emissions aquàtiques	kg		2,45E-04		2,45E-04				
Emissions atmosfèriques: gasos	kg		2,24		2,24				
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq		1,50E-04		1,50E-04				
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq		5,65E-03		5,65E-03				
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq		1,72E-08		1,72E-08				
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq		5,10E-04		5,10E-04				
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq		9E-04		9E-04				
Residus associats a la producció	kg		2,31E-03		2,31E-03				
- No tòxics	kg		1,50E-03		1,50E-03				
- Tòxics	kg		7,88E-04		7,88E-04				
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq		2,43		2,43				
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq		1,04E-06		1,04E-06				
Consum d'aigua	kg		751,74		751,74				
Consum d'energia	MJ		86,99		86,99				
- Renovable	MJ		0,56		0,56				
- No renovable	MJ		86,43		86,43				

10.1.4. Interpretació de les dades

GPPS

Pels indicadors de potencial d'acidificació, potencial d'esgotament d'ozó i potencial d'eutrofització s'han obtingut dades de dos fonts. Per tant, com es pot veure en la Taula 10-2 ha estat possible calcular-ne la desviació i la variància. Les dades tenen uns ordres de magnitud petits i entre indicadors són bastant pròximes, és per això que la desviació estàndard i la variància obtingudes són petites, el que afirma que no existeix una gran dispersió ni variabilitat de les dades.

Per l'indicador de residus tòxics i no tòxics associats a la producció i pel potencial d'escalfament global, dels quals també es tenen dos valors de dos fonts bibliogràfiques, els valors de desviació estàndard i variància calculats no són gaire elevats. Això significa que les dades s'aproximen amb bastant precisió al valor de la mitjana calculada.

Tot el contrari passa amb l'indicador del consum d'energia no renovable, que en aquest cas es tenen dades de les tres fonts. Havent calculat la desviació estàndard s'observa que és prou elevada ja que existeix una certa dispersió entre les mesures i el valor de la variància reafirma la gran variabilitat de les dades. Per aquest indicador, donat que té tres dades diferents, s'ha pogut realitzar un boxplot (Figura 10.1):

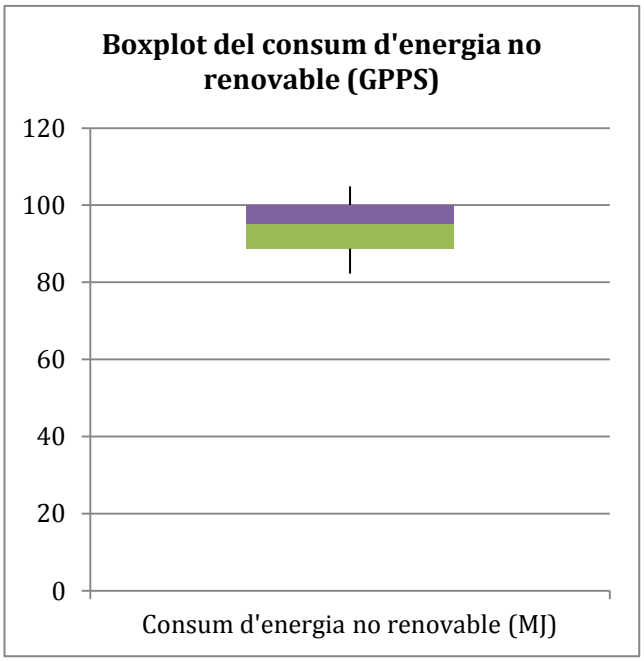

Figura 10.1 Boxplot del consum d'energia no renovable pel GPPS.

10.2. Polipropilè(PP)

10.2.1. Fonts trobades

En el cas del polipropilè, s'han trobat dues fonts bibliogràfiques. La primera d'elles coincideix amb la primera font ja descrita anteriorment pel poliestirè (veure apartat 10.1.1).

La segona d'elles és una font extreta de la mateixa base de dades que la tercera font pel cas del PS (veure apartat 10.1.1). L'estudi consisteix en el mateix però, en aquest cas, pel PP. Els indicadors ambientals que s'utilitzen per avaluar l'impacte ambiental associat a la seva producció són els mateixos. També es descriu i defineix aquest plàstic donant la informació bàsica per conèixer les seves propietats i el mètode producció.

10.2.2. Indicadors seleccionats

Els indicadors dels quals s'han trobat dades del polipropilè en les fonts mencionades són:

Taula 10-4 Indicadors seleccionats pel polipropilè.

Impacte ambiental	Sostenibilitat	Impacte ambiental i sostenibilitat
Emissions aquàtiques i atmosfèriques Potencial d'acidificació Potencial d'esgotament d'ozó Potencial d'eutrofització Potencial de creació fotoquímica d'ozó Residus tòxics i no tòxics associats a la producció	Petjada de carboni Potencial d'escalfament global Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	Consum d'aigua Consum d'energia

10.2.3. Dades

En la Taula 10-5, s'hi observen totes les dades referides al polipropilè amb els càlculs estadístics oportuns.

Taula 10-5 Anàlisi dels indicadors ambientals pel PP.

Indicadors ambientals	**Unitats**	**Font 1** [37]	**Font 2** [22]	**Mitjana**	**Mínim**	**Màxim**	**Desviació estàndard**	**Variància**
Emissions aquàtiques	kg		2,79E-05	2,79E-05				
Emissions atmosfèriques: gasos	kg		0,13	0,13				
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq		3,97E-03	3,97E-03				
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq		4,32E-03	4,32E-03				
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq		5,50E-07	5,50E-07				
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq		1,18E-03	1,18E-03				
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq		3,70E-04	3,70E-04				
Residus associats a la producció	kg	8,50E-02	4,12E-03	4,46E-02	4,12E-03	8,50E-02	5,72E-02	3,27E-03
- No tòxics	kg		1,84E-03	1,84E-03				
- Tòxics	kg		2,28E-03	2,28E-03				
Petjada de carboni	kg CO_2 eq	4,22E-04		4,22E-04				
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq		1,63	1,63				
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq		1,40E-07	1,40E-07				
Consum d'aigua	kg		19,80	19,80				
Consum d'energia	MJ		77,80	77,80				
- Renovable	MJ		0,70	0,70				
- No renovable	MJ	77	77,10	77,05	77	77,10	7,07E-02	5E-03

10.2.4. Interpretació de les dades

En el cas del propilè només és possible interpretar dos indicadors, ja que de la resta no es té més que una dada indicativa.

El primer indicador que es pot interpretar és l'indicador de residus associats a la producció. Els valors extrets de la bibliografia són de magnitud petita i amb la desviació estàndard s'observa que aquests valors són prou propers a la mitjana ja que s'obté un valor de desviació estàndard baix. Pel cas de la variància també s'obté un valor prou petit ja que les dades no presenten una alta variabilitat.

De l'indicador de consum d'energia no renovable es pot dir que els valors bibliogràfics obtinguts són gairebé iguals. D'aquesta manera s'obtenen valors de desviació estàndard i variància molt menuts i s'arriben a les mateixes conclusions que per l'indicador anterior: la dispersió i la variabilitat de les dades és mínima.

10.3. Polietilè (PE)

10.3.1. Fonts trobades

Pel que fa el polietilè, s'han trobat dades de dues fonts bibliogràfiques. Com en el cas del polipropilè i el poliestirè, la primera font és la ja descrita amb anterioritat (veure apartat 10.1.1).

La segona font és similar a la segona font obtinguda pel poliestirè ja que provenen de la mateixa base de dades i els autors són els mateixos (veure apartat 10.1.1). Per tant, l'estudi segueix les mateixes pautes però en aquest cas pel polietilè. Per tant, s'avalua l'impacte ambiental de la producció dels tres tipus de polietilens possibles amb els mateixos indicadors ambientals.

10.3.2. Indicadors seleccionats

Els indicadors que es fan servir pel tractament de les dades del polietilè són els següents:

Taula 10-6 Indicadors seleccionats pel polietilè.

Impacte ambiental	Sostenibilitat	Impacte ambiental i sostenibilitat
Emissions aquàtiques i atmosfèriques Potencial d'acidificació Potencial d'esgotament d'ozó Potencial d'eutrofització Potencial de creació fotoquímica d'ozó Residus tòxics i no tòxics associats a la producció	Petjada de carboni Potencial d'escalfament global Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	Consum d'aigua Consum d'energia

10.3.3. Dades

Seguidament, es troben tres taules, cada una correspon a cada tipus de polietilè. El HDPE és l'únic dels tres tipus dels quals s'han pogut analitzar les dades estadísticament, ja que es disposen dos fonts bibliogràfiques amb dades.

Taula 10-7 Anàlisi dels indicadors ambientals pel HDPE.

Indicadors ambientals	**Unitats**	**Font 1** [37]	**Font 2** [46]	**Mitjana**	**Mínim**	**Màxim**	**Desviació estàndard**	**Variància**
Emissions aquàtiques	kg		3,51E-05	3,51E-05				
Emissions atmosfèriques: gasos	kg		0,19	0,19				
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq		3,97E-03	3,97E-03				
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq		4,28E-03	4,28E-03				
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq		6,40E-07	6,40E-07				
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq		1,20E-03	1,20E-03				
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq		6,30E-04	6,30E-04				
Residus associats a la producció	kg	7,71E-02	2,21E-03	3,97E-02	2,21E-03	7,71E-02	5,30E-02	2,80E-03
- No tòxics	kg		1,28E-03	1,28E-03				
- Tòxics	kg		9,30E-04	9,30E-04				
Petjada de carboni	ha	4,31E-04		4,31E-04				
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq		1,80	1,80				
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq		4,40E-08	4,40E-08				
Consum d'aigua	kg		23,70	23,70				
Consum d'energia	MJ		80,20	80,20				
- Renovable	MJ		0,80	0,80				
- No renovable	MJ	78,30	79,40	78,85	78,30	79,40	0,78	0,61

Taula 10-8 Anàlisi dels indicadors ambientals pel LDPE.

Indicadors ambientals	Unitats	Font 1	Font 2 [46]	Mitjana	Mínim	Màxim	Desviació estàndard	Variància
Emissions aquàtiques	kg		8,88E-05	8,88E-05				
Emissions atmosfèriques: gasos	kg		0,20	0,20				
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq		4,09E-03	4,09E-03				
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq		4,36E-03	4,36E-03				
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq		8,20E-07	8,20E-07				
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq		1,25E-03	1,25E-03				
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq		1,30E-03	1,30E-03				
Residus associats a la producció	kg		5,44E-03	5,44E-03				
- No tòxics	kg		2,38E-03	2,38E-03				
- Tòxics	kg		3,06E-03	3,06E-03				
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq		1,87	1,87				
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq		5,20E-08	5,20E-08				
Consum d'aigua	kg		42,90	42,90				
Consum d'energia	MJ		82,90	82,90				
- Renovable	MJ		1,40	1,40				
- No renovable	MJ		81,50	81,50				

Taula 10-9 Anàlisi dels indicadors ambientals pel LLDPE.

Indicadors ambientals	Unitats	Font 1	Font 2 [46]	Mitjana	Mínim	Màxim	Desviació estàndard	Variància
Emissions aquàtiques	kg		2,67E-05	2,67E-05				
Emissions atmosfèriques: gasos	kg		0,16	0,16				
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq		4,01E-03	4,01E-03				
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq		4,33E-03	4,33E-03				
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq		5,70E-07	5,70E-07				
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq		1,15E-03	1,15E-03				
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq		4,70E-04	4,70E-04				
Residus associats a la producció	kg		1,40E-03	1,40E-03				
- No tòxics	kg		8,35E-04	8,35E-04				
- Tòxics	kg		5,61E-04	5,61E-04				
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq		1,79	1,79				
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq		6,50E-08	6,50E-08				
Consum d'aigua	kg		89,10	89,10				
Consum d'energia	MJ		79,20	79,20				
- Renovable	MJ		0,90	0,90				
- No renovable	MJ		78,30	78,30				

10.3.4. Interpretació de les dades

Els dos indicadors dels que es disposen dades possibles per fer una anàlisi estadística són els residus tòxics i no tòxics associats a la producció i el consum d'energia no renovable.

Les dades per l'indicador de residus associats a la producció són valors de magnitud petita i donat que la dispersió entre elles i la variabilitat són petites, s'obtenen valors de desviació estàndard i variància molt reduïts.

Pel que fa l'indicador d'energia no renovable, els valors indicadors són força semblants. No existeix una dispersió gaire elevada ja que els valors s'aproximen molt a la mitjana i la variabilitat en ser baixa, la variància també esdevé petita.

Per tant, es conclou que existeix molt poca diferència entre les dades de les dues fonts bibliogràfiques.

10.4. Polietilè de tereftalat (PET)

10.4.1. Fonts trobades

Durant la recerca bibliogràfica pel PET, s'han trobat tres fonts on es fa esment d'indicadors ambientals. Les dues primeres fonts coincideixen amb les dues primeres fonts trobades pel poliestirè. Aquestes dues ja s'han explicat anteriorment (veure apartat 10.1.1).

I la tercera, com en el cas del poliestirè pertany a una base de dades de plàstics i la finalitat de l'estudi i els indicadors tractats per avaluar l'impacte de la seva producció són els mateixos, ja explicats amb més detall anteriorment (veure apartat 10.1.1).

10.4.2. Indicadors seleccionats

Els indicadors que es poden veure a la següent taula, són tots els trobats a partir de les fonts mencionades:

Taula 10-10 Indicadors seleccionats pel polietilè de tereftalat.

Impacte ambiental	Sostenibilitat	Impacte ambiental i sostenibilitat
Ecotoxicitat aquàtica Efectes respiratoris de components inorgànics i orgànics Emissions aquàtiques i atmosfèriques Potencial d'acidificació Potencial d'esgotament d'ozó Potencial d'eutrofització Potencial de creació fotoquímica d'ozó Residus tòxics i no tòxics associats a la producció	Petjada de carboni Petjada de cultius Potencial d'escalfament global Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	Consum d'aigua Consum d'energia

10.4.3. Dades

A la Taula 10-11 que es troba a continuació, es poden veure les dades de les tres fonts bibliogràfiques amb les corresponents mitjanes aritmètiques i els càlculs estadístics realitzats pels indicadors que ha estat possible.

Taula 10-11 Anàlisi dels indicadors ambientals pel PET.

Indicadors ambientals	**Unitats**	**Font 1** [37]	**Font 2** [21]	**Font 3** [56]	**Mitjana**	**Mínim**	**Màxim**	**Desviació estàndard**	**Variància**
Ecotoxicitat aquàtica	kg TEG eq			160,56	160,56				
Efectes respiratoris de components inorgànics	kg PM 2,5 eq			2,18E-03	2,18E-03				
Efectes respiratoris de components orgànics	kg etilè eq			2,62E-03	2,62E-03				
Emissions aquàtiques	kg		1,40E-03		1,40E-03				
Emissions atmosfèriques: gasos	kg		2,01		2,01				
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq		6,92E-03		6,92E-03				
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq		7,9E-03	1,52E-02	1,16E-02	7,90E-03	1,52E-02	5,16E-03	2,66E-05
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq		1E-05	1,68E-07	5,08E-06	1,68E-07	1E-05	6,95E-06	4,83E-11
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq		8,10E-04	2,73E-03	1,77E-03	8,10E-04	2,73E-03	1,36E-03	1,85E-06
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq		5,90E-04		5,90E-04				
Residus associats a la producció	kg	0,14	0,58		0,36	0,14	0,58	0,31	0,09
- No tòxics	kg		0,57		0,57				
- Tòxics	kg		4,5E-03		4,50E-03				
Petjada de carboni	ha	6,21E-04			6,21E-04				
Petjada de cultius	ha			1,49E-06	1,49E-06				
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq		2,15	2,76	2,46	2,15	2,76	0,43	0,19
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq		0,03		0,03				
Consum d'aigua	kg		60		60				
Consum d'energia	MJ		69,40		69,40				
- Renovable	MJ		0,80		0,80				
- No renovable	MJ	70,40	68,60	101,6000	80,20	68,60	101,60	18,55	344,28

10.4.4. Interpretació de les dades

Per a aquest plàstic, el potencial d'esgotament d'ozó presenta valors propers entre ells i d'un ordre de magnitud molt baixos. Aquest fet provoca que les dades siguin molt properes al valor de la mitjana aritmètica, de manera que la desviació estàndard i la variància són insignificants.

Pel indicadors de potencial d'acidificació, potencial d'eutrofització, residus tòxics i no tòxics associats a la producció i potencial d'escalfament global s'han obtingut dades bastants pròximes, és a dir, amb una poca dispersió, fet que es corrobora amb els valors baixos de les desviacions estàndards. De la mateixa manera, les diferents variàncies calculades tampoc són elevades ja que la variabilitat de les dades és mínima.

Per últim, l'indicador del consum d'energia no renovable presenta unes dades més variables i més disperses com es pot veure reflectit en els valors obtinguts de la desviació estàndard i la variància. Aquests valors són força elevats. Per aquest indicador s'ha realitzat el següent boxplot (Figura 10.2), ja que es disposaven de tres dades:

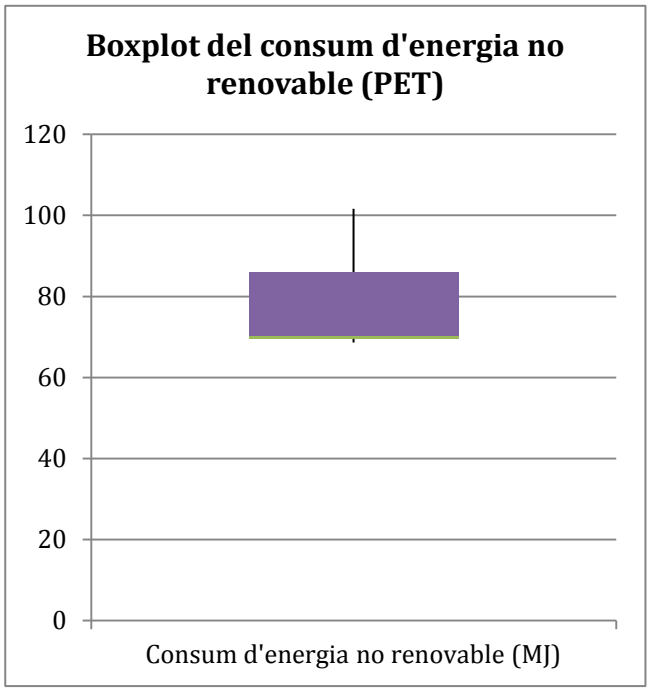

Figura 10.2 Boxplot del consum d'energia no renovable pel PET.

10.5. Policlorur de vinil (PVC)

10.5.1. Fonts trobades

Les dues primeres fonts bibliogràfiques trobades pel plàstic PVC, diferencia el PVC en emulsió i el PVC en suspensió. Com en els plàstics anteriors, també s'han extret de la mateixa base de dades, per tant, les pautes que segueixen són idèntiques (veure apartat 10.1.1). En aquest cas, es tracten menys indicadors ambientals que són els següents: el consum d'aigua i d'energia, les emissions atmosfèriques de pols i partícules, el potencial d'acidificació, el potencial d'escalfament global, el potencial d'eutrofització, el potencial de creació fotoquímica d'ozó i, per últim, els residus tòxics i no tòxics associats a la producció.

Les tres fonts següents trobades fan una breu descripció del PVC, de la seva historia i estructura. Concretament, cada font tracta un tipus diferent de PVC (en emulsió, en suspensió i en massa), definint el procés de producció i avaluant l'impacte ambiental segons els indicadors següents: el consum d'aigua, d'energia i de petroli, les emissions aquàtiques i atmosfèriques, el material requerit i els residus associats a la producció.

10.5.2. Indicadors seleccionats

Pel PVC, aquest són els indicadors ambientals que s'estudien:

Taula 10-12 Indicadors seleccionats pel policlorur de vinil.

Impacte ambiental	Sostenibilitat	Impacte ambiental i sostenibilitat
Emissions aquàtiques i atmosfèriques Potencial d'acidificació Potencial d'eutrofització Potencial de creació fotoquímica d'ozó Residus tòxics i no tòxics associats a la producció	Material requerit Potencial d'escalfament global Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	Consum d'aigua Consum d'energia Consum de petroli

10.5.3. Dades

En les següents taules es mostren totes les dades trobades per a cada tipus de PVC, així com l'estudi estadístic realitzat pel PVC en emulsió i en suspensió, ja que de PVC en massa no es disposa més que d'una dada per indicador.

Taula 10-13 Anàlisi dels indicadors ambientals pel PVC en emulsió.

Indicadors ambientals	Unitats	**Font 1** [57]	**Font 2** [53]	Mitjana	Mínim	Màxim	Desviació estàndard	Variància
Emissions aquàtiques	kg		1,30E-03	1,30E-03				
Emissions atmosfèriques: gasos	kg		2,32	2,32				
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq	7,50E-04	7,50E-04	7,50E-04	7,50E-04	7,50E-04	0	0
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq	7E-03		7E-03				
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq	8E-04		8E-04				
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq	4,50E-04		4,50E-04				
Residus associats a la producció	kg	0,23	2,33E-01	2,31E-01	0,23	2,33E-01	2E-03	3,93E-06
- No tòxics	kg	2,25E-01	2,28E-01	2,27E-01	2,25E-01	2,28E-01	2,20E-03	4,65E-06
- Tòxics	kg	5E-03	4,75E-03	4,88E-03	4,75E-03	5E-03	1,74E-04	3,03E-08
Material requerit	kg		0,80	0,80				
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq	2,50		2,50				
Consum d'aigua	kg	11	610	310,50	11	610	423,56	179400,50
Consum d'energia	MJ	65,90	66,36	66,13	65,90	66,36	0,33	1,06E-01
- Renovable	MJ	1,52	0,50	1,01	0,50	1,52	0,72	0,52
- No renovable	MJ	64,38	65,86	65,12	64,38	65,86	1,05	1,10
Consum de petroli	kg		0,51	0,51				

Taula 10-14 Anàlisi dels indicadors ambientals pel PVC en suspensió.

Indicadors ambientals	Unitats	Font 1 [58]	Font 2 [52]	Mitjana	Mínim	Màxim	Desviació estàndard	Variància
Emissions aquàtiques	kg		1,40E-03	1,40E-03				
Emissions atmosfèriques: gasos	kg		1,82	1,82				
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq	4,30E-04	4,30E-02	2,17E-02	4,30E-04	4,30E-02	3,01E-02	9,06E-04
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq	5,3E-03	5,3E-03	5,3E-03				
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq	6,20E-04		6,20E-04				
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq	4,20E-04		4,20E-04				
Residus associats a la producció	kg	0,15	1,52E-01	1,51E-01	1,50E-01	1,52E-01	1,50E-03	2,25E-06
- No tòxics	kg	1,42E-01	1,44E-01	1,43E-01	1,42E-01	1,42E-01	1,58E-03	2,50E-06
- Tòxics	kg	8E-03	7,89E-03	7,94E-03	7,89E-03	8E-03	7,92E-05	6,27E-09
Material requerit	kg		0,64	0,64				
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq	1,90		1,90				
Consum d'aigua	kg	10	460	235	10	460	318,20	101250
Consum d'energia	MJ	56,73	57,10	56,92	56,73	57,10	2,62E-01	6,85E-02
- Renovable	MJ	1,27	0,37	0,82	0,37	1,27	6,36E-01	0,41
- No renovable	MJ	55,46	56,73	56,10	55,46	56,73	8,98E-01	0,81
Consum de petroli	kg		0,47	0,47				

Taula 10-15 Anàlisi dels indicadors ambientals pel PVC en massa.

Indicadors ambientals	Unitats	Font 1	Font 2 [54]	Mitjana	Mínim	Màxim	Desviació estàndard	Variància
Emissions aquàtiques	kg		2,70E-04	2,70E-04				
Emissions atmosfèriques: gasos	kg		1,22	1,22				
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq		5,20E-04	5,20E-04				
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq							
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq							
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq							
Residus associats a la producció	kg		6,35E-02	6,35E-02				
- No tòxics	kg		5,07E-02	5,07E-02				
- Tòxics	kg		1,28E-02	1,28E-02				
Material requerit	kg		2,12	2,12				
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq							
Consum d'aigua	kg		27	27				
Consum d'energia	MJ		56,19	56,19				
- Renovable	MJ		0,12	0,12				
- No renovable	MJ		56,07	56,07				
Consum de petroli	kg		0,45	0,45				

10.5.4. Interpretació de les dades

PVC en emulsió

Per aquest tipus de PVC, l'indicador d'emissions atmosfèriques de pols i partícules és exactament el mateix per les dues fonts bibliogràfiques. Això comporta que la desviació estàndard i la variància siguin nul·les ja que no existeix dispersió ni variabilitat de les dades.

Per l'indicador de residus tòxics i no tòxics associats a la producció, tant si s'estudien aquests residus per separat com el total de la suma de tots dos, s'obtenen les mateixes conclusions: les variàncies són pràcticament nul·les i les desviacions estàndard prou petites, per tant, la variabilitat i la dispersió dels resultats és molt reduïda.

En canvi, pel cas del consum d'aigua, es veu una clara llunyania de les dades respecte de la mitjana aritmètica. Aleshores, en tenir una gran dispersió i variabilitat, s'obtenen valors de desviació estàndard i variància molt elevats.

Pel que fa el consum d'energia, ja sigui renovable, no renovable o la suma d'ambdues, es nota una clara semblança entre les dades. Els valors que s'obtenen de les desviacions i les variàncies són força baixos.

PVC en suspensió

Pel tipus de PVC en suspensió, les conclusions que se n'extreuen són bastants similars a les del tipus de PVC anteriorment comentat.

Els indicadors d'emissions atmosfèriques de pols i partícules i els residus tòxics i no tòxics associats a la producció presenten dades de dues fonts del mateix ordre de magnitud entre sí. Els valors d'aquestes dades no disten gaire de les mitjanes aritmètiques, per tant, les desviacions estàndards i variàncies corresponents són molt baixes.

Com també ocorria amb el PVC en emulsió, les dades del consum d'aigua són ben disperses, llavors, els valors calculats de desviació estàndard i variància són molt elevats.

Per l'indicador del consum d'energia total o bé, estudiat separant l'energia renovable de la no renovable, s'observa que la desviació estàndard i la variància no presenten valors molt alts, són valors que confirmen una petita dispersió i variabilitat de les dades. Les dades no s'allunyen gaire de la mitjana aritmètica calculada.

10.6. Comparacions

Un cop interpretats els resultats per separat, s'han realitzat unes taules a mode de resum amb totes les mitjanes aritmètiques, el valors mínims i màxims de les dades i les desviacions estàndards i les variàncies. S'han unificat en funció de cada càlcul, expressant en totes les taules tots els plàstics i tots els indicadors ambientals.

10.6.1. Comparació entre els plàstics

Les comparacions entre els diferents plàstics convencionals que formen part d'aquest estudi es realitzen a partir de les mitjanes aritmètiques de les dades per a cada indicador. Aquestes es troben a la Taula 10-16. La resta de taules es poden veure a l'Annex.

Cada indicador es comenta a partir dels plàstics dels quals es disposin dades ja que no de tots dels indicadors s'han trobat dades per a tots els plàstics.

Indicadors d'impacte ambiental

L'indicador d'ecotoxicitat aquàtica és superior pel GPPS que pel PET, la qual cosa significa que el GPPS és més nociu i produeix efectes més perjudicials en els organismes d'un cert medi aquàtic davant de la seva exposició.

Per l'indicador d'efectes respiratoris de components orgànics i inorgànics, els dos plàstics presenten valors indicatius del mateix ordre de magnitud, per tant, es considera que la producció d'aquests dos plàstics té el mateix grau d'afectació en la salut.

Els plàstics que més poden perjudicar un medi aquàtic degut a les seves emissions originàries de la producció són el PET, el PVC en emulsió i el PVC en suspensió. Tots els altres plàstics restants tenen un nivell més baix d'emetre emissions a aquest medi, però els que presenten valors indicadors més baixos són el PE i el PP.

Segons els resultats obtinguts, el PVC en emulsió és el tipus de plàstic que més perjudica amb les seves emissions de gasos a l'atmosfera. El segueixen els dos tipus de PS, el PET i els PVC restants. En aquest cas, la producció de PP i PE originen molt poques emissions en comparació amb la resta de plàstics esmentats. En canvi, si les emissions són de pols i de partícules, el PVC en suspensió és el plàstic que més n'emet durant la seva fabricació i els que menys n'emeten són el PS, el PET i els dos PVC restants.

El potencial d'acidificació presenta un valor més elevat pel PET. Tenint en compte que la resta de plàstics convencionals presenten un potencial un ordre de magnitud inferior, es pot afirmar que tots aquestes plàstics afecten de la mateixa manera en el fenomen de l'acidificació.

El plàstic que pot causar una major destrucció de la capa d'ozó és el PET. La resta de plàstics presenten valors inferiors de potencial d'esgotament d'ozó.

Pel potencial d'eutrofització, els valors més alts els presenten el PP, el PE i el PET. Tot i així, els valors de la resta de plàstics només són d'un ordre de magnitud inferior , de manera que es pot dir que contribueixen aproximadament per igual en el fenomen de l'eutrofització.

El potencial de creació fotoquímica d'ozó presenta el seu valor més alt per un del tipus de polietilè, el LDPE. El PP és qui té el valor menor per aquest potencial.

El plàstic que genera més residus per cada quilogram de plàstic produït és el PET, tot i que el que causa més residus tòxics és el PVC en massa.

Indicadors de sostenibilitat

De l'indicador de material requerit per a la producció dels plàstic només es tenen dades del PVC, i com es pot observar en la Taula 10-21, el PVC en massa és el tipus que en necessita més.

Pel que fa la petjada de carboni, el quatre plàstics dels quals es té informació (GPPS, PP, HDPE i PET) presenten uns valors prou baixos i del mateix ordre de magnitud. En conseqüència, la quantitat d'hectàrees de bosc necessàries per absorbir les emissions de diòxid de carboni provinent majoritàriament de la combustió de combustibles fòssils és molt semblant.

La petjada de cultius del PET és superior que la del GPPS, per tant, el primer plàstic esmentat requereix de més superfície per produir aliments pel consum humà i pel bestiar.

El potencial d'escalfament global presenta valors del mateix ordre de magnitud per tots els plàstics, però el plàstic que més contribueix a l'alliberament de diòxid de carboni a l'atmosfera i, per tant, pot provocar l'augment de la temperatura global terrestre, és el GPPS.

Clarament, el PET és el plàstic que més afavoreix amb diferència a disminuir la disponibilitat

dels recursos abiòtics com així ho indica el seu potencial si es compara amb la resta de plàstics, que presenten valors molt per sota del valor del PET.

El valor del potencial d'esgotament dels recursos abiòtics és bastant més petit pel GPPS. Per tant, el bioplàstic Mater-Bi afavoreix en major proporció a la disminució de la disponibilitat d'aquests recursos.

Indicadors d'impacte ambiental i sostenibilitat

Amb una diferència prou significativa, els dos tipus de PS requereixen d'un consum d'aigua més elevat que la resta de plàstics. El segueix el PET i la resta presenten valors de consum molt inferiors.

L'indicador del consum d'energia no presenta valors molt dispersos entre els plàstics. La mitjana de consum global com d'energia renovable i no renovable per separat són força semblants. A banda d'això, els plàstics que consumeixen més energia no renovable per quilogram de producte produït són els dos tipus de PS i el LDPE és el plàstic que utilitza més energia renovable per a la seva producció.

De l'indicador del consum de petroli només es té informació sobre els tres tipus de PVC. Tot i que presenten consums quasi idèntics per quilogram de plàstic produït, el PVC és el que presenta el valor més alt.

Taula 10-16 Mitjana aritmètica.

Indicadors ambientals	Unitats	PS		PP	PE			PET	PVC		
		GPPS	HIPS		HDPE	LDPE	LLDPE		Emulsió	Suspensió	Massa
Ecotoxicitat aquàtica	kg TEG eq	385,79						160,56			
Efectes respiratoris de components inorgànics	kg PM 2,5 eq	2,94E-03						2,18E-03			
Efectes respiratoris de components orgànics	kg etilè eq	2,32E-03						2,62E-03			
Emissions aquàtiques	kg	2,39E-04	2,45E-04	2,79E-05	3,51E-05	8,88E-05	2,67E-05	1,40E-03	1,30E-03	1,40E-03	2,70E-04
Emissions atmosfèriques: gasos	kg	2,07	2,24	0,13	0,19	0,20	0,16	2,01	2,32	1,82	1,22
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq	1,50E-04	1,50E-04	3,97E-03	3,97E-03	4,09E-03	4,01E-03	6,92E-03	7,50E-04	2,17E-02	5,20E-04
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq	3,70E-03	5,65E-03	4,32E-03	4,28E-03	4,36E-03	4,33E-03	1,16E-02	7E-03	5,30E-03	
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq	9,72E-09	1,72E-08	5,50E-07	6,40E-07	8,20E-07	5,70E-07	5,08E-06			
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq	2,45E-04	5,10E-04	1,18E-03	1,20E-03	1,25E-03	1,15E-03	1,77E-03	8,E-04	6,20E-04	
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq	8,50E-04	9E-04	3,70E-04	6,30E-04	1,30E-03	4,70E-04	5,90E-04	4,50E-04	4,20E-04	
Residus associats a la producció	kg	5,54E-02	2,31E-03	4,46E-02	3,97E-02	5,44E-03	1,40E-03	3,58E-01	2,31E-01	1,51E-01	6,35E-02
- No tòxics	kg	3,39E-04	1,52E-03	1,84E-03	1,28E-03	2,38E-03	8,35E-04	5,70E-01	2,27E-01	1,43E-01	5,07E-02
- Tòxics	kg	4,57E-04	7,88E-04	2,28E-03	9,30E-04	3,06E-03	5,61E-04	4,50E-03	4,88E-03	7,94E-03	1,28E-02
Material requerit	kg								0,80	0,64	2,12
Material subjecte a reciclatge	kg										1,90E-04
Petjada de carboni	ha	7,36E-04		4,22E-04	4,31E-04			6,21E-04			
Petjada de cultius	ha	8,68E-09						1,49E-06			
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq	2,63	2,43	1,63	1,80	1,87	1,79	2,46	2,50	1,90	
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq	9,21E-07	1,04E-06	1,40E-07	4,40E-08	5,20E-08	6,50E-08	0,03			
Consum d'aigua	kg	708,37	751,74	19,80	23,70	42,90	89,10	60,00	310,50	235	27
Consum d'energia	MJ	82,78	86,99	77,80	80,20	82,90	79,20	69,40	66,13	56,92	56,19
- Renovable	MJ	0,52	0,56	0,70	0,80	1,40	0,90	0,80	1,01	0,82	0,12
- No renovable	MJ	94,11	86,43	77,05	78,85	81,50	78,30	80,20	65,12	56,10	56,07
Consum de petroli	kg								0,51	0,47	0,45

10.6.2. Comparació entre un plàstic convencional i un bioplàstic

A part de comparar els diferents plàstics convencionals estudiats entre ells, també es realitza una breu comparació entre un plàstic convencional i un bioplàstic. S'ha escollit el poliestirè cristall (GPPS) i el Mater-Bi. Les dades d'aquest han estat extretes del projecte d'una companya que consisteix en catalogar l'impacte ambiental dels materials bioplàstics.

A continuació, en la Taula 10-21 estan tots els indicadors ambientals dels quals es tenen les mitjanes aritmètiques calculades a partir de les dades dels dos plàstics.

10-17 Dades dels indicadors ambientals pel GPPS i el Mater-Bi.

Indicadors ambientals	Unitats	GPPS	Mater-Bi
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq	3,70E-03	1,73E-02
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq	9,72E-09	3,32E-07
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq	2,45E-04	4,98E-03
Residus associats a la producció	kg	5,54E-02	0,23
- No tòxics	kg	3,39E-04	0,20
- Tòxics	kg	4,57E-04	3,45E-02
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq	2,63	2,51
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq	9,21E-07	2,66E-02
Consum d'aigua	kg	708,37	140,47
Consum d'energia	MJ	82,78	59,15
- Renovable	MJ	0,52	12,53
- No renovable	MJ	94,11	46,62

Indicadors d'impacte ambiental

Els dos valors indicatius del potencial d'acidificació i del potencial d'eutrofització pel GPPS són inferiors que els respectius valors del Mater-Bi, la qual cosa significa que el Mater-Bi contribueix més en els impactes d'acidificació i eutrofització.

Donat que el valor del potencial d'esgotament d'ozó pel Mater-Bi és dos ordres de magnitud més elevat que el valor pel GPPS, vol dir que per cada quilogram de Mater-Bi, aquest pot provocar una major destrucció de l'ozó, que és el que mesura aquest potencial.

Amb els indicadors dels residus associats a la producció, ja siguin tòxics o no, es pot afirmar

que per cada quilogram produït de Mater-Bi es generen més residus que no pas amb un quilogram de GPPS produït.

Indicadors de sostenibilitat

Per cada quilogram de Mater-Bi i de GPPS produït s'alliberen 2,508 kg de CO_2 i 2,6333 kg de CO_2, respectivament. Són valors molts semblants, però per petita que sigui la diferència, el GPPS contribueix en major grau a augmentar l'escalfament global.

El valor del potencial d'esgotament dels recursos abiòtics és bastant més petit pel GPPS. Per tant, el bioplàstic Mater-Bi afavoreix en major proporció a la disminució de la disponibilitat d'aquests recursos.

Indicadors d'impacte ambiental i sostenibilitat

L'indicador del consum d'aigua és molt més elevat pel GPPS que pel Mater-Bi, la qual cosa significa que per produir 1 quilogram de GPPS es necessita molta més aigua. Concretament 708,37 quilograms, en canvi pel Mater-Bi serien necessaris 140,468 quilograms.

L'indicador del consum d'energia ens indica que el Mater-Bi requereix de més energia renovable per a produir-ne 1 quilogram, i en el cas del GPPS, es necessita de més energia no renovable per a la producció d'un quilogram de GPPS. En conjunt, aquest últim plàstic consumeix més energia que el Mater-Bi.

Els indicadors de sostenibilitat permeten determinar la capacitat que té un element, sistema o procés per mantenir-se actiu i productiu al llarg del temps.

11. Estudi econòmic

En aquest apartat, es fa una anàlisi econòmica de la realització d'aquest projecte. Donat que és un treball teòric, les despeses econòmiques són bastant limitades. Aquestes s'han dividit en dos subgrups:

- Costos de recursos humans ateses a les hores que dedica el treballador en desenvolupar el projecte:

Activitat	Quantitat (h)	Preu unitari (€/h)	Costos totals (€)
Recerca i estudi bibliogràfic	150	15	2.250
Tractament de les dades	250	15	3.750
Redacció de la memòria	200	15	3.000
SUBTOTAL	600	15	9.000

- Altres costos associats al material d'oficina i a la impressió del projecte:

Activitat	Costos totals (€)
Material d'oficina	250
Impressió de la memòria	50
SUBTOTAL	300

Al subtotal de despeses se li ha d'aplicar el percentatge d'IVA corresponent. Així que el cost total del projecte és de 11.253 €.

Subgrups de despeses	Costos totals (€)
Recursos humans	9.000
Altres despeses	300
SUBTOTAL	9.300
IVA (21%)	1.953
TOTAL	11.253

12. Cronograma

A continuació, en el següent diagrama de Gantt es mostra la planificació completa aproximada de la realització d'aquest 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 ambientals														
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														

Figura 12.1 Diagrama de Gantt de la planificació.

13. Impacte ambiental

En tot projecte es requereix avaluar l'impacte que té aquest sobre el medi ambient. Pel que fa a aquest projecte, s'ha desenvolupat fent ús d'eines informàtiques i materials impresos en paper. Conseqüentment, l'impacte ambiental es limita al consum energètic i a la generació de residus.

Suposant que la potència de l'ordinador és de 160 W i sabent que el temps estimat per fer el projecte és de 600 hores, es pot determinar el consum de dita màquina. Aquest consum generarà unes certes emissions de CO_2, concretament, per cada kWh es generen 0,264 kg de CO_2. [59] Mitjançant totes aquestes dades és possible calcular les emissions de diòxid de carboni alliberades a l'atmosfera per l'ordinador; aquest valor és de 25,344 kg CO_2. En la Taula 13-1 es mostra tota aquesta informació.

Tabla 13-1 Càlcul del consum energètic i de les emissions de CO_2 per l'ordinador.

Potència (kW)	Temps de funcionament (h)	Consum (kWh)	Equivalència kg CO_2/kWh	Emissions de CO_2 (kg CO_2)
0,16	600	96	0,264	25,344

També s'ha fet un gran ús de fulls de paper (uns 400 aproximadament) per a les diverses impressions d'articles, apunts, etc. Tots aquests residus generats han tingut un correcte reciclatge.

14. Conclusions

Primerament, s'ha estudiat la problemàtica que existeix davant la gran producció de plàstics provinents de combustibles fòssils i l'impacte que es genera si al final de la seva vida útil, aquests no es reciclen o no es reutilitzen per a la recuperació d'energia. S'ha fet una distinció per aclarir què són els plàstics convencionals i els bioplàstics i quina diferència existeix entre ells. S'ha après que no tots els bioplàstics són biodegradables i derivats de la biomassa simultàniament.

Seguidament, s'han exposat la gran quantitat d'indicadors existents diferenciant-los en indicadors d'impacte, de sostenibilitat o bé si es consideraven dels dos tipus. S'han explicat amb claredat cada un d'ells per, posteriorment, fer la recerca de dades bibliogràfiques sobre els diferents plàstics tradicionals estudiats i se n'ha desenvolupat una base de dades a partir de la recol·lecció d'aquestes dades disponibles. Un cop realitzada la base dades, es poden veure tots els valors unificats i, també s'observa que en general les dispersions de les dades són bastant petites i això significa que existeix una poca variabilitat de les dades trobades en fonts diferents.

A continuació, s'ha realitzat una extensa comparativa dels cinc plàstics convencionals escollits analitzant les dades estadísticament per obtenir una valors mitjans de cada indicador. A partir de les desviacions estàndards i les variàncies s'ha pogut estudiar la dispersió i la variabilitat de les dades bibliogràfiques. En la majoria dels casos, aquests valors eren molt baixos. Amb la comparació dels plàstics, es pot saber quins plàstics són més sostenibles i quins originen un impacte ambiental menor.

En base a aquests indicadors, el plàstic de menys impacte ambiental és el PP, requerint el menor consum d'aigua per a la seva producció (19,8 kg d'aigua/kg plàstic produït) i emetent 0,13 kg d'emissions atmosfèriques per cada quilogram de plàstic. El plàstic que es pot considerar el més agressiu pel medi, tenint en compte els resultats, és el PET, amb un potencial d'acidificació de 0,0116 kg de SO_2 equivalent per quilogram i generant 0,36 kg de residus per quilogram de PET produït. El PVC en emulsió i el PVC en suspensió serien els següents plàstics amb un impacte elevat. Altrament, s'ha trobat que els dos tipus de poliestirens (el GPPS i el HIPS) mostren una pitjor sostenibilitat en base als indicadors de potencial d'escalfament global, de consum d'aigua i d'energia. També cal destacar que el PVC en massa no necessita d'un consum d'energia ni d'aigua excessivament elevat per a la

seva producció.

Havent realitzat la comparativa entre un bioplàstic, Mater-Bi, i un plàstic convencional, el poliestirè d'ús general (GPPS) s'ha pogut concloure que el Mater-Bi és més sostenible que el GPPS però que tot i ser un plàstic derivat de productes vegetal, el seu impacte sobre el medi ambient és major que l'impacte causat pel GPPS.

A més, s'ha realitzat un estudi econòmic i una anàlisi de l'impacte ambiental d'aquest projecte. No suposa unes despeses gaire elevades ja que és un treball purament teòric que no requereix de part experimental ja que totes les dades provenen de la bibliografia. Per aquest motiu també, l'impacte ambiental ocasionat és mínim.

Per acabar, cal fer constància que s'ha intentat recollir tots els indicadors ambientals possibles, que com s'ha pogut comprovar, n'existeix una gran diversitat i que trobar les dades dels indicadors pels plàstics és difícil. Cal tenir en compte que en funció de l'impacte ambiental que es vulgui avaluar, s'haurà d'emprar un indicador o altre.

15. Agraïments

En primer lloc, vull donar les gràcies al meu tutor, Jordi Bou, per haver-me donat l'oportunitat de realitzar aquest projecte i també m'agradaria agrair la seva dedicació, orientació, i suport que m'ha brindat durant tots aquests mesos.

A la Maria Gil, per la col·laboració desinteressada que m'ha ofert durant tot aquest temps que hem estat treballant juntes i pels bons moments que m'ha fet passar.

A tota la meva família, en especial als meus pares, per la paciència que han tingut durant tots els anys de la carrera i per haver-me recolzat i animat en tot moment.

I, per últim, donar gràcies també als meus amics per l'interès i la preocupació que m'han demostrat, en especial la Marta, per tots els ànims que sempre he rebut d'ella.

16. Bibliografia

[1] Escuela de Ingenierías Industriales, "Historia del plástico." [Online]. Available: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/teflon/paginas del menu/HISTORIA DEL PLASTICO.htm. [Accessed: 12-Jan-2015].

[2] PlasticsEurope, "Historia." [Online]. Available: http://www.plasticseurope.es/que-es-el-plastico/historia-de-los-plasticos.aspx. [Accessed: 12-Jan-2015].

[3] PlasticsEurope, "Plásticos - Situación en 2011," 2011.

[4] PlasticsEurope, "Plastics - the Facts 2014, an analysis of European plastics production, demand and waste data," pp. 1–33, 2014.

[5] C. Wabnitz and W. J. Nichols, "Plastic Pollution: An Ocean Emergency," no. 129, pp. 1–4, 2010.

[6] H. Sciences and N. Zealand, "The pollution of the marine environment by plastic debris: a review," vol. 44, pp. 842–852, 2002.

[7] P. Roy, D. Nei, T. Orikasa, Q. Xu, H. Okadome, N. Nakamura, and T. Shiina, "A review of life cycle assessment (LCA) on some food products," *J. Food Eng.*, vol. 90, no. 1, pp. 1–10, Jan. 2009.

[8] A. Azapagic, "Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation," vol. 73, no. 1385, 1999.

[9] M. A. Curran, "Life Cycle Assessment: a review of the methodology and its application to sustainability," *Curr. Opin. Chem. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 273–277, Aug. 2013.

[10] C. de Madrid, "Información Práctica - Sistema de Indicadores Ambientales de la Comunidad de Madrid," 2014. [Online]. Available: http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM_InfPractica_FA&cid=1114194271774&language=es&pagename=ComunidadMadrid/Estructura&pv=1114194272661. [Accessed: 09-Dec-2014].

[11] J. Bru, "Què són i què pretenen els indicadors?," pp. 18–33, 2006.

[12] M.-Á. Aguirre, "Los sistemas de indicadores ambientales y su papel en la información e integración del medio ambiente."

[13] S. E. y M. C. Mark Goedkoop, *Eco-indicator'99*. 1999, p. 34.

[14] Xtec, "L'efecte hivernacle." [Online]. Available: http://www.xtec.cat/~mferna99/projecte/hiverna.htm. [Accessed: 10-Jan-2015].

[15] EPA, "Analysis of the Life Cycle Impacts and Potential for avoided impacts associated with single-family homes," 2013.

[16] O. Layer, “Ozone Layer Depletion,” no. September 2009, 2010.

[17] “Metodología del análisis del ciclo de vida,” 2013.

[18] J. Muro and J. Fernández, “Análisis de ciclo de vida de 1 kWh generado por un parque eólico,” 2013.

[19] “Eutrophication,” pp. 17–40.

[20] EPA, “Life Cycle Assessment,” 1999.

[21] S. Madival, R. Auras, S. P. Singh, and R. Narayan, “Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology,” *J. Clean. Prod.*, vol. 17, no. 13, pp. 1183–1194, Sep. 2009.

[22] PlasticsEurope, “Polypropylene (PP),” *Eco-profiles Environ. Prod. Declar. Eur. Plast. Manuf.*, no. April, pp. 1–44, 2014.

[23] “Calidad del aire.” [Online]. Available: http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calaire/ContaAtmosferica/portadilla.html. [Accessed: 18-Dec-2014].

[24] S. Alonso, “Impactos medioambientales en construcción sostenible,” *Wiki EOI*, 2012. [Online]. Available: http://www.eoi.es/wiki/index.php/Impactos_medioambientales_en_Construcción_sostenible. [Accessed: 10-Jan-2015].

[25] J. Arnaldos, J. Bou, and I. Casas, *Tecnologia del medi ambient i sostenibilitat*. 2013.

[26] EEA, *Costs of air pollution from European industrial facilities*, no. 20. 2014.

[27] L. Huella and E. De, “La Huella Ecológica de la UGR.”

[28] “La huella ecológica.” [Online]. Available: http://www.reciclame.info/otros-temas-de-interes/la-huella-ecologica/. [Accessed: 13-Jan-2015].

[29] L. van Oers, A. de Koning, J. Guinée, and G. Huppes, “Abiotic resource depletion in LCA,” no. June, 2002.

[30] “Environment. Air, water and land,” 2005.

[31] M. Kunioka, K. Taguchi, F. Ninomiya, M. Nakajima, A. Saito, and S. Araki, “Biobased Contents of Natural Rubber Model Compound and Its Separated Constituents,” *Polymers (Basel).*, vol. 6, no. 2, pp. 423–442, Feb. 2014.

[32] B. Analytic, “Beta Analytic Biobased Testing.” [Online]. Available: http://www.betalabservices.com/biobased/. [Accessed: 04-Jan-2015].

[33] PlasticsEurope, "¿Qué es el plástico?" [Online]. Available: http://www.plasticseurope.es/que-es-el-plastico.aspx. [Accessed: 13-Jan-2015].

[34] R. M. Darbra, "Indústria dels plàstics," 2014.

[35] C. Ibáñez, "Què són els bioplàstics?," *Revista Informacions (UPC)*, 2012. [Online]. Available: https://chemaibanez.wordpress.com/2012/05/26/que-son-els-bioplastics-upc-revista-informacions-no-249/. [Accessed: 05-Jan-2015].

[36] E. Bioplastics, "What are bioplastics?," 2014.

[37] J. P. Greene, *Sustainable Plastics: Environmental Assessments of Biobased, Biodegradable, and Recycled Plastics*. .

[38] QuimiNET, "Todo sobre el Poliestireno." [Online]. Available: http://www.quiminet.com/articulos/todo-sobre-el-poliestireno-3337.htm. [Accessed: 18-Dec-2014].

[39] S. M. SA, "Gpps (Poliestireno de uso general) gránulos de color transparente," 2014. [Online]. Available: http://www.solostocks.com.mx/venta-productos/termoplasticos-materiales-plasticos/ps-poliestireno/gpps-poliestireno-de-uso-general-granulos-de-color-transparente-1994090. [Accessed: 07-Jan-2015].

[40] L. A. C. Co., "Resistencia del Poliestireno HIPS," 2013. [Online]. Available: http://es.made-in-china.com/co_aosenchemical/product_HIPS-High-Impact-Polystyrene-Heat-Resistance-Injection-Grade_henyrieey.html. [Accessed: 07-Jan-2015].

[41] M. Aislamientos, "Bolas de Porexpan." [Online]. Available: http://www.munneaislamientos.com/productos-aislamientos-acusticos-termicos/bolas-de-porexpan. [Accessed: 05-Jan-2015].

[42] P. A. E. P. SL, "ROOF, cubiertas y techos - XPS (Poliestireno Extruido)." [Online]. Available: http://www.ps6aplicaciones.com/productos/roof-cubiertas-y-techos_800293_1.html. [Accessed: 07-Jan-2015].

[43] Allbiz, "Polipropileno." [Online]. Available: http://minsk.all.biz/es/polipropileno-g126169. [Accessed: 07-Jan-2015].

[44] I. JQ, "Propiedades PVC," 2013. [Online]. Available: http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PVC/PVCprop/propiedades.htm. [Accessed: 04-Jan-2015].

[45] "Polietileno - Tecnología de los Plásticos," 2013. [Online]. Available: http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2012/07/polietileno-pe.html. [Accessed: 22-Dec-2014].

[46] PlasticsEurope, "High-density Polyethylene (HDPE), Low-density Polyethylene (LDPE), Linear Low-density Polyethylene (LLDPE)," no. April, 2014.

[47] S. M. SA, “High Density Polyetylene,” 2014. [Online]. Available: http://www.solostocks.pl/sprzedaz-produkty/tworzywa-termoplastyczne/ldpe-polietylen-o-niskiej-gestosci/polietylen-o-niskiej-gestosci-1989533. [Accessed: 07-Jan-2015].

[48] S. B. M. Z. T. Co., “Polietileno de la densidad de LDPE,” 2014. [Online]. Available: http://es.made-in-china.com/co_bituomeixin/product_LDPE-LDPE-Granules-Low-Density-Polyethylene_eyeyuorhg.html. [Accessed: 07-Jan-2015].

[49] Indiamart, “LLDPE Granule.” [Online]. Available: http://dir.indiamart.com/ahmedabad/lldpe-granule.html. [Accessed: 07-Jan-2015].

[50] “PET - Tecnología de los Plásticos,” 2013. [Online]. Available: http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/05/pet.html. [Accessed: 06-Jan-2015].

[51] “Polímeros,” 2005. [Online]. Available: http://www.textoscientificos.com/polimeros/. [Accessed: 06-Jan-2015].

[52] PlasticsEurope, “Polyvinylchloride (PVC) (suspension polymerisation),” no. July, pp. 1–16, 2006.

[53] PlasticsEurope, “Polyvinylchloride (PVC) (emulsion polymerisation),” no. July, pp. 1–16, 2006.

[54] PlasticsEurope, “Polyvinylchloride (PVC) (bulk polymerisation),” no. March, pp. 1–15, 2005.

[55] PlasticsEurope, “General-Purpose Polystyrene (GPPS) and High-Impact Polystyrene (HIPS),” no. November, 2012.

[56] PlasticsEurope, “Polyethylene Terephthalate (PET),” no. May, 2011.

[57] PlasticsEurope, “Polyvinylchloride (PVC) Emulsion polymerisation,” 2008.

[58] PlasticsEurope, “Polyvinylchloride (PVC) Suspension polymerisation,” 2008.

[59] J. Jorge and P. Busquets, “Aproximación a la huella ecológica de la Escuela Universitaria Politécnica de Manresa (UPC),” 1996.

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria Química

Catalogació de l'impacte ambiental de plàstics. Materials convencionals

ANNEX A: Taules

Autor: Mònica Miernau Raurell
Director: Jordi Bou Serra

Convocatòria: Gener 2015

ETSEIB
Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona

UPC

Taula 1 Mínim.

Indicadors ambientals	Unitats	PS		PP	PE			PET	PVC		
		GPPS	HIPS		HDPE	LDPE	LLDPE		Emulsió	Suspensió	Massa
Ecotoxicitat aquàtica	kg TEG eq										
Efectes respiratoris de components inorgànics	kg PM 2,5 eq										
Efectes respiratoris de components orgànics	kg etilè eq										
Emissions aquàtiques	kg										
Emissions atmosfèriques: gasos	kg										
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq								7,5000E-04	4,3000E-04	
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq	2,0248E-03						0,0079			
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq	3,1475E-09						1,6782E-07			
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq	9,7066E-06						8,1000E-04			
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq										
Residus associats a la producció	kg	7,9600E-04		4,1200E-03	2,2100E-03			0,1410	0,2300	0,1500	
- No tòxics	kg								0,2250	0,1420	
- Tòxics	kg								4,7540E-03	7,8880E-03	
Material requerit	kg										
Material subjecte a reciclatge	kg										
Petjada de carboni	kg CO_2 eq										
Petjada de cultius	m^2										
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq	2,2500						2,1500			
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq										
Consum d'aigua	kg								11	10	
Consum d'energia	MJ								65,9000	56,7300	
- Renovable	MJ								0,5000	0,3700	
- No renovable	MJ	82,2600		77	78,3000			68,6000	64,3800	55,4600	
Consum de petroli	kg										

Taula 2 Màxim.

Indicadors ambientals	Unitats	PS		PP	PE			PET	PVC		
		GPPS	HIPS		HDPE	LDPE	LLDPE		Emulsió	Suspensió	Massa
Ecotoxicitat aquàtica	kg TEG eq										
Efectes respiratoris de components inorgànics	kg PM 2,5 eq										
Efectes respiratoris de components orgànics	kg etilè eq										
Emissions aquàtiques	kg										
Emissions atmosfèriques: gasos	kg										
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq								7,5000E-04	4,3000E-02	
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq	5,3800E-03						0,0152			
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq	1,6300E-08						1,0000E-05			
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq	4,8000E-04						2,7340E-03			
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq										
Residus associats a la producció	kg	0,1100		0,0850	0,0771			0,5745	0,2328	0,1521	
- No tòxics	kg								0,2280	0,1442	
- Tòxics	kg								0,0050	0,0080	
Material requerit	kg										
Material subjecte a reciclatge	kg										
Petjada de carboni	kg CO_2 eq										
Petjada de cultius	m^2										
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq	3,0165						2,7600			
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq										
Consum d'aigua	kg								610	460	
Consum d'energia	MJ								66,3600	57,1000	
- Renovable	MJ								1,5200	1,2700	
- No renovable	MJ	104,8802		77,1000	79,4000			101,6000	65,8600	56,7300	
Consum de petroli	kg										

Taula 3 Desviació estàndard.

Indicadors ambientals	Unitats	PS		PP	PE			PET	PVC		
		GPPS	HIPS		HDPE	LDPE	LLDPE		Emulsió	Suspensió	Massa
Ecotoxicitat aquàtica	kg TEG eq										
Efectes respiratoris de components inorgànics	kg PM 2,5 eq										
Efectes respiratoris de components orgànics	kg etilè eq										
Emissions aquàtiques	kg										
Emissions atmosfèriques: gasos	kg										
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq								0	0,0301	
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq	2,3725E-03						5,1619E-03			
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq	9,3002E-09						6,9524E-06			
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq	3,3255E-04						1,3605E-03			
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq										
Residus associats a la producció	kg	0,0772		0,0572	0,0530			0,3065	1,9813E-03	1,5005E-03	
- No tòxics	kg								2,1553E-03	1,5797E-03	
- Tòxics	kg								1,7395E-04	7,9196E-05	
Material requerit	kg										
Material subjecte a reciclatge	kg										
Petjada de carboni	kg CO_2 eq										
Petjada de cultius	m^2										
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq	0,5420						0,4313			
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq										
Consum d'aigua	kg								423,5570	318,1981	
Consum d'energia	MJ								0,3253	0,2616	
- Renovable	MJ								0,7212	0,6364	
- No renovable	MJ	11,3492		0,0707	0,7778			18,5548	1,0465	0,8980	
Consum de petroli	kg										

Taula 4 Variància.

Indicadors ambientals	Unitats	PS		PP	PE			PET	PVC		
		GPPS	HIPS		HDPE	LDPE	LLDPE		Emulsió	Suspensió	Massa
Ecotoxicitat aquàtica	kg TEG eq										
Efectes respiratoris de components inorgànics	kg PM 2,5 eq										
Efectes respiratoris de components orgànics	kg etilè eq										
Emissions aquàtiques	kg										
Emissions atmosfèriques: gasos	kg										
Emissions atmosfèriques: pols i partícules	kg PM 10 eq								0	9,0610E-04	
Potencial d'acidificació	kg SO_2 eq	5,6287E-06						2,6645E-05			
Potencial d'esgotament d'ozó	kg CFC-11 eq	8,6494E-17						4,8336E-11			
Potencial d'eutrofització	kg PO_4 eq	1,1059E-07						1,8508E-06			
Potencial de creació fotoquímica d'ozó	kg etilè eq										
Residus associats a la producció	kg	5,9628E-03		3,2708E-03	2,8043E-03			0,094	3,9256E-06	2,2514E-06	
- No tòxics	kg								4,6452E-06	2,4954E-06	
- Tòxics	kg								3,0258E-08	6,2720E-09	
Material requerit	kg										
Material subjecte a reciclatge	kg										
Petjada de carboni	kg CO_2 eq										
Petjada de cultius	m^2										
Potencial d'escalfament global	kg CO_2 eq	0,2938						0,1860			
Potencial d'esgotament dels recursos abiòtics	kg Sb eq										
Consum d'aigua	kg								179400,5000	101250	
Consum d'energia	MJ								0,1058	0,0685	
- Renovable	MJ								0,5202	0,4050	
- No renovable	MJ	128,8035		0,0050	0,6050			344,2800	1,0952	0,8065	
Consum de petroli	kg										