



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA DEL TRACTAMENT DE PURINS BASAT EN L'ASSECATGE SOLAR

Treball Final de Grau
Enginyeria de sistemes biològics

Autor: José Luis López Moreno

Tutores: Teresa Balanyà Martí (ESAB)

Assumpció Antón Vallejo (IRTA)

Data: 10/02/2018

RESUM

La producció intensiva de bestiar ha fet incrementar el volum de dejeccions ramaderes i ha causat la necessitat del seu tractament degut principalment a les conseqüències negatives que els purins poden causar sobre el medi ambient.

Aquest projecte realitza un estudi d'Anàlisi del Cicle de Vida (ACV) del tractament de purins basat en l'assecatge solar en hivernacles convenientment adaptats. Es tracta d'un tractament innovador, dissenyat per l'empresa EMA Depuració i Enginyeria de l'Aigua S.L.U., a partir del qual s'obté un producte final amb una reducció del 95% del pes inicial, resultant òptim pel compostatge.

Per dur a terme aquesta anàlisi s'ha utilitzat el programa SimaPro 8.4 de Pré-Consultants, ja que inclou un gran nombre de bases de dades. Pel que fa a la metodologia d'avaluació d'impactes ambientals, s'ha utilitzat el ILCD (*International Reference Life Data System*). Un cop avaluats tots els impactes ambientals es pot afirmar que és un mètode de tractament econòmic i ambientalment sostenible on les emissions generades estan per sota d'altres estudis d'ACV realitzats.

RESUMEN

La producción intensiva de ganado ha incrementado el volumen de deyecciones ganaderas y ha causado la necesidad de su tratamiento debido principalmente a las consecuencias negativas que los purines pueden causar sobre el medio ambiente.

Éste proyecto realiza un estudio de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del tratamiento de purines basado en el secado solar en invernaderos convenientemente adaptados. Se trata de un tratamiento innovador, diseñado por la empresa EMA Depuración e Ingeniería del agua S.L.U., a partir del cual se obtiene un producto final con una reducción del 95% del peso inicial, resultando óptimo para el compostaje.

Para llevar a cabo éste análisis se ha utilizado el programa SimaPro 8.4 de Pré-Consultants, ya que incluye un gran número de bases de datos. Respecto a la metodología de evaluación de impactos ambientales, se ha utilizado el ILCD (*International Reference Life Data System*). Una vez evaluados todos los impactos ambientales se puede afirmar que se trata de un método de tratamiento económica y ambientalmente sostenible donde las emisiones generadas están muy por debajo de otros estudios de ACV realizados.

ABSTRACT

The intensive production of livestock has increased the excess of pig slurry and has caused the need for their treatment mainly due to the negative consequences that slurry can produce on the environment.

This project is a study of Life Cycle Assessment (LCA) of slurry treatment based on solar drying in conveniently adapted greenhouses. It's an innovative treatment designed by EMA Depuration and Water Engineering S.L.U. Company. As a result, it's obtained a final product with a 95% of reduction of the initial weight, being ideal for composting.

SimaPro 8.4 program of Pré-Consultants has been used to carry out this analysis, because of the large number of databases that it includes. The ILCD (International Reference Life Data System), has been used as a methodology in order to evaluate the environmental impacts. Once evaluated all the environmental impacts, it can be affirmed that it's an economically and environmentally sustainable treatment method where emissions generated are lower than other LCA studies.

SUMARI

1. <u>INTRODUCCIÓ</u>	1-8
1.1 Sector porcí.....	1-2
1.2 Impacte ambiental.....	2-3
1.3 Tractaments de purins	4-5
1.4 Tractament d'assecatge en hivernacles	5-6
1.5 Definició de l'Anàlisi del Cicle de Vida (ACV)	7-8
2. <u>OBJECTIUS</u>	9
3. <u>MATERIALS I METODOLOGIA</u>	10-43
3.1 Descripció de la planta de tractament	
3.1.1 Descripció de l'explotació agrària.....	10
3.1.2 Diagrama de flux de l'assecatge solar	10-13
3.1.3 Descripció tècnica de la instal·lació	13-16
3.1.3.1 Bombament i acidificació.....	13
3.1.3.2 Hivernacle	14-15
3.1.3.3 Biofiltre	15
3.1.3.4 Altres instal·lacions	15-16
3.2 Metodologia ACV	
3.2.1 Origen.....	16
3.2.2 Normativa	17
3.2.3 Metodologia	17-26
3.2.3.1 Definició dels objectius i de l'abast de l'ACV	17-19
3.2.3.2 Anàlisi d'inventari (ICV)	19-21
3.2.3.3 Avaluació d'impactes ambientals (AICV)	21-23
3.2.3.4 Interpretació	23
3.2.4 Dependència metodològica.....	24-25
3.2.5 Avantatges i inconvenients de la utilització de l'ACV.....	26
3.3 Definició dels objectius i de l'abast de l'estudi	
3.3.1 Objectius de l'ACV	26
3.3.2 Unitat Funcional.....	27
3.3.3 Descripció del sistema	27

3.3.4	Límits del sistema	28-29
3.3.5	Assignació de càrregues.....	29
3.3.6	Fonts de les dades	29-30
3.3.7	Incertesa de les dades.....	30-33
3.4	Anàlisi de l'Inventari del Cicle de Vida de l'estudi (ICV)	
3.4.1	Recopilació de les dades	33
3.4.2	Quantificació de les dades.....	33-37
3.4.3	Resultats de l'Inventari del Cicle de Vida	37-40
3.4.4	Resultats de la incertesa de les dades.....	40-43
4.	<u>RESULTATS: AVALUACIÓ DE L'IMPACTE AMBIENTAL (AICV)</u>	44-67
4.1	Contribució de les dues fases als diferents impactes ambientals considerats.....	44-47
4.2	Canvi climàtic	47-48
4.3	Disminució de l'ozó estratosfèric	49-50
4.4	Partícules en suspensió.....	51-52
4.5	Eutrofització.....	53-58
4.5.1	Eutrofització terrestre.....	53-54
4.5.2	Eutrofització marina	55-56
4.5.3	Eutrofització d'aigua dolça	57-58
4.6	Acidificació	59-60
4.7	Exhauriment de recursos.....	61-62
4.8	Radiació ionitzant	63-64
4.9	Formació d'ozó fotoquímic.....	65-66
4.10	Comparació bibliogràfica.....	67
5.	<u>CONCLUSIONS</u>	68-69
6.	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	70-73

Índex de figures

Figura 1.1. Percentatges del cens porcí per comunitats autònomes _____	1
Figura 1.2. Pla d'actuacions per a la gestió i el tractament de dejeccions ramaderes. _____	4
Figura 1.3. Esquema general del tractament basat en l'assecatge solar. _____	5
Figura 1.4. Fases d'una Anàlisi del Cicle de Vida segons la normativa ISO 14040. _____	8
Figura 3.1. Diagrama de flux del procés d'assecatge solar. _____	10
Figura 3.2. Fotografia de la planta de tractament. _____	12
Figura 3.3. Procediments per l'anàlisi d'inventaris _____	19
Figura 3.4. Categories d'impacte per al modelatge de la caracterització dels mètodes <i>midpoint</i> i <i>endpoint</i> _____	25
Figura 3.5. Diagrama de flux de l'ACV de la planta de tractament _____	27
Figura 4.1. Resultats del canvi climàtic en % considerant la fase de Construcció _____	48
Figura 4.2. Resultats del canvi climàtic en % considerant la fase d'operació _____	48
Figura 4.3. Resultats del canvi climàtic en kg considerant la fase de Construcció _____	48
Figura 4.4. Resultats del canvi climàtic en kg considerant la fase d'operació _____	48
Figura 4.5. Resultats de la disminució d'ozó estratosfèric en % considerant la fase de construcció _____	50
Figura 4.6. Resultats de la disminució d'ozó estratosfèric en % considerant la fase d'operació _____	50
Figura 4.7. Resultats de la disminució d'ozó estratosfèric en kg considerant la fase de construcció _____	50
Figura 4.8. Resultats de la disminució d'ozó estratosfèric en kg considerant la fase d'operació _____	50
Figura 4.9. Resultats de les partícules en suspensió en % considerant la fase de construcció _____	52
Figura 4.10. Resultats de les partícules en suspensió en % considerant la fase d'operació _____	52
Figura 4.11. Resultats de les partícules en suspensió en kg considerant la fase de construcció _____	52

Figura 4.12. Resultats de les partícules en suspensió en kg considerant la fase d'operació _____	52
Figura 4.13. Resultats de l'eutrofització terrestre en % considerant la fase de construcció _____	54
Figura 4.14. Resultats de l'eutrofització terrestre en % considerant la fase d'operació _____	54
Figura 4.15. Resultats de l'eutrofització terrestre en kg considerant la fase de construcció _____	54
Figura 4.16. Resultats de l'eutrofització terrestre en kg considerant la fase d'operació _____	54
Figura 4.17. Resultats de l'eutrofització marina en % considerant la fase de construcció _____	56
Figura 4.18. Resultats de l'eutrofització marina en % considerant la fase d'operació _____	56
Figura 4.19. Resultats de l'eutrofització marina en kg considerant la fase de construcció _____	56
Figura 4.20. Resultats de l'eutrofització marina en kg considerant la fase d'operació _____	56
Figura 4.21. Resultats de l'eutrofització d'aigua dolça en % considerant la fase de construcció _____	58
Figura 4.22. Resultats de l'eutrofització d'aigua dolça en % considerant la fase d'operació _____	58
Figura 4.23. Resultats de l'eutrofització d'aigua dolça en kg considerant la fase de construcció _____	58
Figura 4.24. Resultats de l'eutrofització d'aigua dolça en kg considerant la fase d'operació _____	58
Figura 4.25. Resultats de l'acidificació en % considerant la fase de construcció _____	60
Figura 4.26. Resultats de l'acidificació en % considerant la fase d'operació _____	60
Figura 4.27. Resultats de l'acidificació en kg considerant la fase de construcció _____	60
Figura 4.28. Resultats de l'acidificació en kg considerant la fase d'operació _____	60
Figura 4.29. Resultats de l'exhauriment de recursos en % considerant la fase de construcció _____	62

Figura 4.30. Resultats de l'exhauriment de recursos en % considerant la fase d'operació _____	62
Figura 4.31. Resultats de l'exhauriment de recursos en kg considerant la fase de construcció _____	62
Figura 4.32. Resultats de l'exhauriment de recursos en kg considerant la fase d'operació _____	62
Figura 4.33. Resultats de la radiació ionitzant en % considerant la fase de construcció _____	64
Figura 4.34. Resultats de la radiació ionitzant en % considerant la fase d'operació _____	64
Figura 4.35. Resultats de la radiació ionitzant en kg considerant la fase de construcció _____	64
Figura 4.36. Resultats de la radiació ionitzant en kg considerant la fase d'operació _____	64
Figura 4.37. Resultats de la formació d'ozó fotoquímic en % considerant la fase de construcció _____	66
Figura 4.38. Resultats de la formació d'ozó fotoquímic en % considerant la fase d'operació _____	66
Figura 4.39. Resultats de la formació d'ozó fotoquímic en kg considerant la fase de construcció _____	66
Figura 4.40. Resultats de la formació d'ozó fotoquímic en kg considerant la fase d'operació _____	66

Índex de taules

Taula 1.1. Cens porcí per comunitats autònomes _____	1
Taula 3.1. Caracterització del purí a tractar i del purí sec _____	12
Taula 3.2. Mides del dipòsit d'àcid _____	13
Taula 3.3. Dimensions de l'hivernacle _____	14
Taula 3.4. Mides del biofiltre _____	15
Taula 3.5. Principals programes informàtics utilitzats per l'elaboració d'una ACV _____	21
Taula 3.6. Origen de les dades _____	30
Taula 3.7. Factors d'incertesa bàsica; c: emissions de la combustió; p: emissions del procés; a: emissions de l'agricultura _____	31
Taula 3.8. Matriu utilitzada per avaluar la qualitat de la font de les dades ____	32
Taula 3.9 Factors d'incertesa sobre la qualitat de les dades utilitzats per calcular la incertesa total _____	33
Taula 3.10. Resultats de l'inventari per a la fase de construcció _____	38
Taula 3.11. Processos de fabricació dels materials i/o maquinària _____	39
Taula 3.12. Processos d'eliminació dels residus _____	39
Taula 3.13. Resultats de l'inventari per a la fase d'operació. _____	40
Taula 3.14. Resultats de l'anàlisi d'incertesa de la fase de construcció. _____	41
Taula 3.15. Resultats de l'anàlisi d'incertesa dels processos de fabricació ____	42
Taula 3.16. Resultats de l'anàlisi d'incertesa dels processos d'eliminació dels residus _____	42-43
Taula 3.17. Resultats de l'anàlisi d'incertesa de la fase d'operació. _____	43
Taula 4.1. Resultats de l'avaluació d'impactes per a la fase de construcció. _	45
Taula 4.2. Resultats de l'avaluació d'impactes dels processos d'eliminació dels residus. _____	46
Taula 4.3. Resultats de l'avaluació d'impactes per a la fase d'operació ____	46

Símbols i acrònims

ACV Anàlisi del Cicle de Vida

AICV Avaluació de l'Impacte Ambiental del Cicle de Vida

EEA *European Environment Agency*

ESAB Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

FAO Organització de les Nacions Unides per a l'alimentació i l'agricultura

ICV Anàlisi de l'Inventari del Cicle de Vida

ILCD *International Reference Life Cycle Data System*

IRTA Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària

ISO *International Standard Organization*

MAPAMA Ministeri d'Agricultura i Pesca, Alimentació i Medi Ambient

OMS Organització Mundial de la Salut

SETAC *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*

UF Unitat Funcional

UNEP *United Nations Environmental Program*

US-EPA *United States Environmental Protection Agency*

USLCI *United States Life Cycle Inventory Database*

WRI *World Resources Institute*

Agraïments

En primer lloc vull agrair l'ajuda i la col·laboració que he rebut per part de l'Assumpció Antón Vallejo (cotutora), el Francesc Xavier Prenafeta Boldu i l'August Bonmatí Blasi de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), ja que sense ells l'elaboració d'aquest estudi no hagués sigut possible.

En segon lloc també vull agrair a Joan Soler Guell per haver-me permès assistir personalment a la planta d'assecatge situada a Vic.

Per últim, vull fer un agraïment a Teresa Balanyà Martí, la tutora d'aquest treball de fi de grau.

1. INTRODUCCIÓ

1.1 SECTOR PORCÍ

Segons les dades del Ministeri d'Agricultura i Pesca, Alimentació i Medi Ambient (MAPAMA) de 2015, el sector porcí és actualment un dels més importants i desenvolupats ocupant el primer lloc en la producció mundial de carn. Espanya ocupa la tercera posició a nivell mundial en la producció de porcs, per darrera de Xina i Estats Units. A Europa, es situa per primera vegada al capdavant de la producció amb un cens de 28,3 milions d'individus (Taula 1.1).

Taula 1.1. Cens porcí per comunitats autònomes (MAPAMA, Novembre 2015).

Comunitat Autònoma	Milions d'individus	%
Castella i Lleó	3.694.272	13,02
Catalunya	7.699.746	27,14
Aragó	6.904.196	24,34
R. de Múrcia	1.744.862	6,15
Andalusia	2.401.992	8,47
País Valencià	1.107.816	3,91
Castella - la Manxa	1.559.676	5,50
Galícia	1.082.035	3,81
Altres	2.172.739	7,66
Total	28.367.335	100%

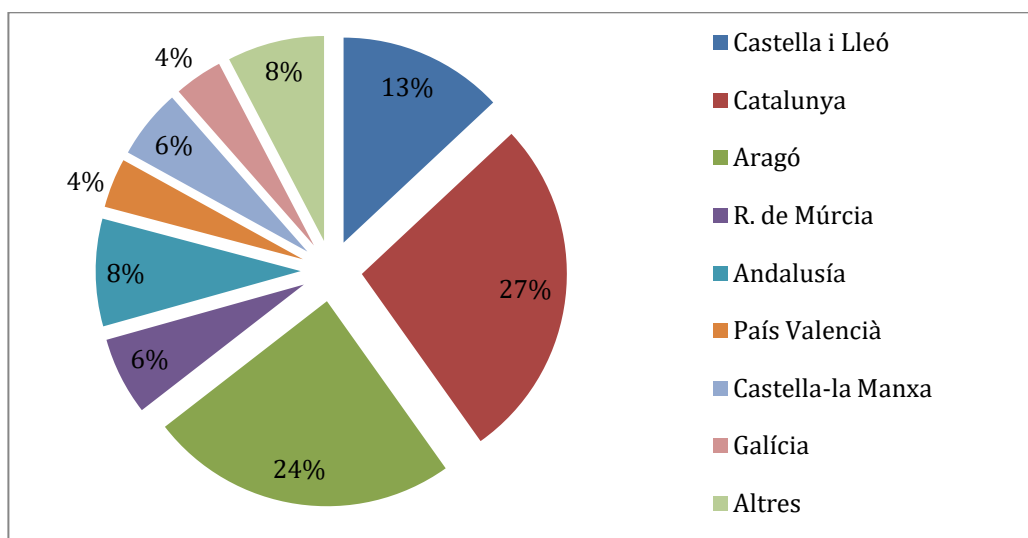


Figura 1.1. Percentatges del cens porcí per comunitats autònomes (MAPAMA, Novembre 2015).

Com veiem a la gràfica (Figura 1.1), el 85% del cens porcí correspon a la producció de 6 de les 22 comunitats autònomes, essent Catalunya la majoritària, seguida per Aragó i Castella i Lleó amb un 60% aproximadament, i Andalusia, Múrcia i Castella la Manxa amb el 25% restant. Degut a la gran demanda i la consegüent producció intensiva de bestiar, el cens porcí nacional ha augmentat un 11,27% de Novembre de 2013 a Novembre de 2015.

Segons el Decret 136/2009¹, un porc pot produir d'entre 4,5L a 5,9L de purins al dia. Aquest fet pot representar un risc mediambiental causat per l'increment de volum de purins, produïts principalment en àrees geogràfiques específiques amb una alta concentració de bestiar, que reclamen un pla de gestió de dejeccions² i un compromís amb la legislació vigent. Si els purins no són gestionats correctament, la qualitat del sòl, de l'aire i de les aigües, es veuen afectades. De fet, l'activitat ramadera és troba entre els tres sectors amb més influències negatives sobre els ecosistemes naturals (Steinfeld et al., 2006).

1.2 IMPACTE AMBIENTAL

L'impacte del sector ramader en els ecosistemes naturals depèn principalment de la ubicació i del maneig que es realitzi de l'explotació ramadera. La producció intensiva de bestiar, ha modificat el volum i la naturalesa de les dejeccions canviant els sistemes de producció i augmentant la quantitat de purí generat. Una de les conseqüències negatives d'aquest fet, és que provoca una saturació en la capacitat d'absorció del sòl en les explotacions amb una superfície agrícola insuficient per gestionar-les correctament com fertilitzants, ocasionant un desequilibri continu entre l'agricultura i la ramaderia i degradant la qualitat de les aigües superficials i subterrànies (Hooda et al., 2000). El creixement urbanístic i d'infraestructures i l'abandonament de terres marginals, han causat el descens de la superfície agrària útil.

Tot i això, seguint el codi de bones pràctiques agràries, les dejeccions ramaderes poden convertir-se en un recurs molt valuós per al sòl, sempre i quan es coneguin les seves característiques i els requeriments dels conreus.

¹ Decret 136/2009, d'1 de Setembre, d'aprovació del programa d'actuació aplicable a les zones vulnerables en relació

² Programa, individual o col·lectiu, d'actuacions que condueixin a adequar la producció de residus a les necessitats dels conreus en l'espai i en el temps. Definició estreta de Flotats, X. (2000). La gestió i el tractament dels purins de porc. *La Terra*, 259-4.

Cal destacar, que una bona gestió de la explotació, no només és fonamental per reduir l'impacte ambiental i millorar la qualitat del purí, sinó també per reduir el cost del transport, ja que pot ser un limitant econòmic important. En són exemples d'una bona gestió, la reducció del volum de purí en l'origen, mitjançant un bon ús de l'aigua de neteja i un control dels xumets i/o la reducció del contingut en nutrients i metalls, mitjançant la modificació de les dietes (Babot et al., 2004).

Les característiques dels purins són molt variables ja que depenen de molts factors, com ara l'alimentació, l'estat fisiològic i l'edat dels animals o la gestió de la granja, entre d'altres. Els purins destaquen per contenir altes concentracions de nitrogen total i amoniacal, fòsfor, potassi i un contingut elevat d'aigua. El nitrogen i el fòsfor són els nutrients més problemàtics perquè poden provocar processos perjudicials per el medi ambient, per la salut humana i animal. La repercussió del nitrogen sobre el medi ambient i la salut, és deguda majoritàriament als nitrats, al ser solubles poden lixiviar i contaminar les aigües subterrànies. Tot i això, s'ha de saber que els purins no contenen nitrats, sinó que es produeixen a partir del nitrogen amoniacal que contenen, mitjançant els processos de nitrificació bacterians donats a les capes superiors del sòl. Per altra banda, el fòsfor té una gran capacitat de contaminació de les aigües superficials ja que pot provocar un creixement accelerat d'algues i/o plantes aquàtiques, fet que causa una reducció de la qualitat de l'aigua pel procés anomenat eutrofització.

La qualitat del sòl també és pot veure afectada. L'aplicació incorrecte de purins en el sòl agrícola pot provocar problemes greus sobre els cultius deguts principalment a l'acumulació de metalls pesats, pèrdua de nutrients o a l'alteració de les poblacions microbianes d'aquest. Un excés de purins al sòl pot desencadenar una activitat degradativa de la matèria orgànica, consumint la majoria de l'oxigen disponible del sòl.

Trobem altres problemàtiques centrades principalment en l'emissió de gasos olorosos, com ara l'amoníac (NH_3) i el sulfur d'hidrogen (H_2S). Segons la *European Environment Agency* (EEA) a l'any 2010, el 94% de les emissions totals d'amoníac eren procedents del sector agrari. A més, es produeixen emissions de compostos orgànics volàtils i de gasos d'efecte hivernacle com ara el diòxid de carboni (CO_2), el monòxid de carboni (CO), el metà (CH_4) i l'òxid nítrós (N_2O). Totes les emissions generades poden ser originades durant el funcionament de la pròpia explotació o bé, durant l'emmagatzematge, tractament o aplicació del purí.

1.3 TRACTAMENTS DE PURINS

En els últims anys s'han desenvolupat tecnologies de depuració de purins amb l'objectiu de minimitzar els efectes adversos descrits anteriorment i obtenir un adob excel·lent (adequat a les necessitats del conreu) i, si es possible, un valor energètic afegit. Així doncs, cal trobar un sistema de tractament ambientalment correcte i alhora econòmicament sostenible, considerant que la millor opció de tractament és l'aplicació en sòl agrícola (Flotats et al., 2004).

Un tractament és una combinació de processos amb l'objectiu de modificar les característiques del residu per adequar-lo com a producte de qualitat i minimitzar el seu impacte ambiental. Els objectius principals d'un tractament són: reduir el seu volum i minimitzar els costos de transport; adequar la producció i la composició del residu a les necessitats dels conreus; higienitzar-lo parcialment i revaloritzar-lo econòmicament.

A continuació, s'indica la presa de decisions per la bona gestió de les dejeccions ramaderes (Figura 1.2).

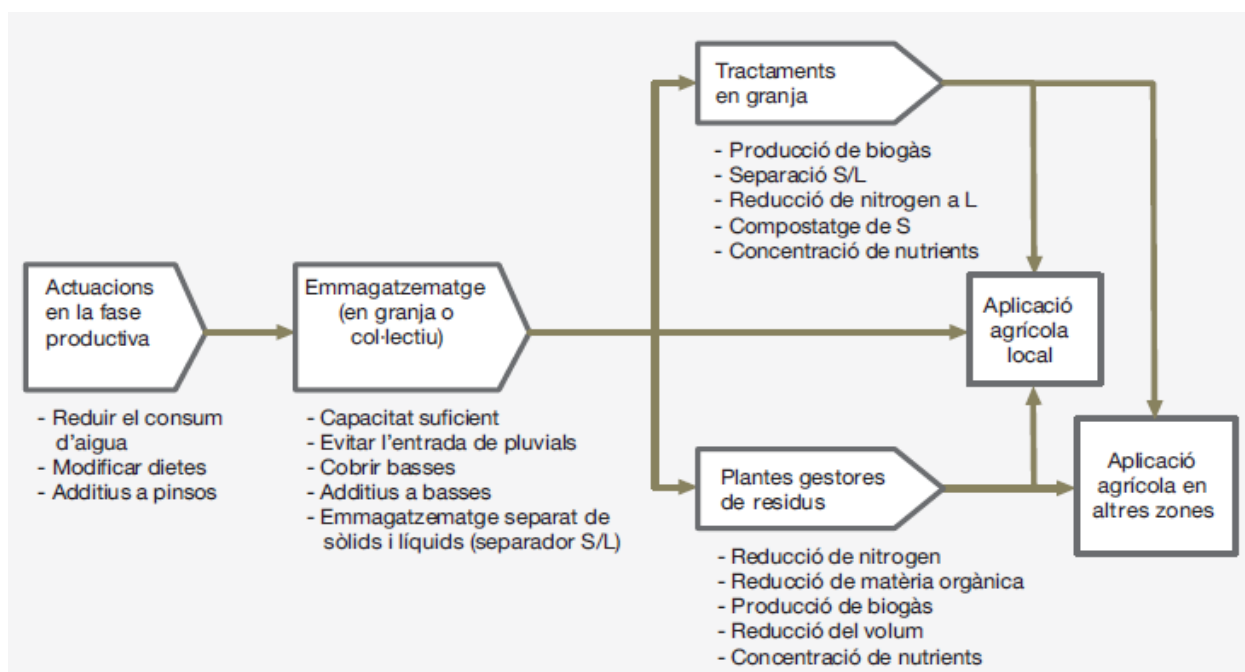


Figura 1.2. Pla d'actuacions per a la gestió i el tractament de dejeccions ramaderes (extret de la guia de dejeccions ramaderes, Flotats et al., 2004) http://www.arc.cat.net/ca/altres/purins/guia/pdf/guia_dejeccions.pdf.

Un cop realitzades les primeres actuacions, es dona pas a l'aplicació de les dejeccions en els conreus sempre que les característiques del purí ho permetin. Si no és el cas, s'haurà de realitzar un altre tractament específic adequat als requeriments. La tria del tractament dependrà de les característiques pròpies de cada granja, del grau d'excedència dels nutrients, del cabal que cal tractar i de les distàncies fins a l'aplicació (costos de transport associats).

1.4 TRACTAMENT D'ASSECATGE SOLAR EN HIVERNACLES

L'objecte d'estudi d'aquest projecte final de grau és una tècnica de tractament innovadora i desenvolupada per l'empresa EMA Depuració i Enginyeria de l'Aigua S.L.U, que es basa en l'assecatge de purins en hivernacles convenientment adaptats. La captació d'energia solar, el control climàtic (senyors de temperatura i humitat) i la convenient aireació forçada dins de l'hivernacle (extractor i ventiladors) evaporen una part d'aigua, amb una reducció del 95% del pes inicial i permet l'obtenció d'un producte final amb una sequedat superior al 60%, òptim per el compostatge.

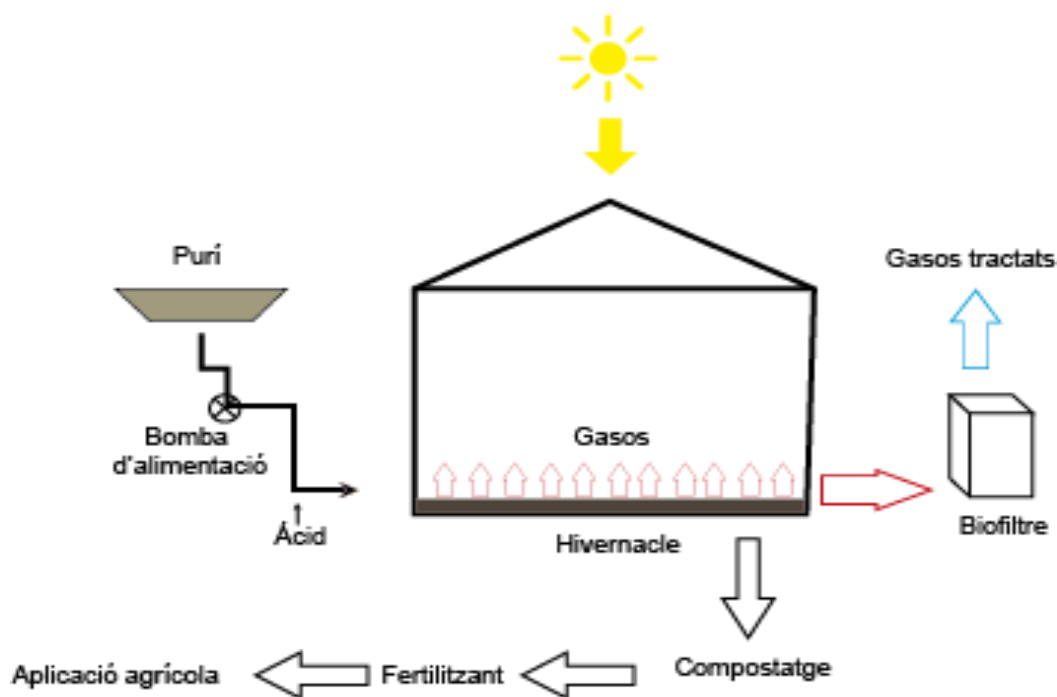


Figura 1.3. Esquema general del tractament basat en l'assecatge solar.

En l'esquema anterior (Figura 1.3) es poden diferenciar les següents parts: la bassa d'emmagatzematge de purins a tractar, el bombament d'aquests cap a l'hivernacle i la seva acidificació, l'hivernacle, el biofiltre i el producte final (purí sec).

Durant aquest tractament es disminueixen les emissions d'amoniac gasós mitjançant l'acidificació del purí, transformant-lo en l'ió amoni (no gasós) que queda solubilitzat en la fracció líquida. Tot i això, l'aire alliberat pot contenir inevitablement compostos orgànics volàtils i una fracció d'amoniac i per tant, és essencial tractar-lo. Mitjançant un biofiltre amb un llit fix vegetal es minimitzen les emissions d'aquests gasos contaminants. Aquests biofiltres fan passar la corrent d'aire contaminat saturat d'humitat a través d'un suport on són degradats per l'activitat microbiana. Segons la Llei 20/2009, del 4 de Desembre, de prevenció i control ambiental de les activitats del Decret 139/2009, els límits màxims d'emissió d'aquests gasos a la sortida del biofiltre són:

- 50 mg C/Nm³ de compostos orgànics volàtils
- 30 mg N/Nm³ de amoniac

Aquests límits d'emissió són expressats en base seca i en condicions normals (una temperatura de 20°C i una pressió de 101,3Kpa).

L'assecatge es duu a terme a l'hivernacle a través del procés conegut com a evaporació solar, on s'aconsegueix una deshidratació del purí degut a la transferència de l'aigua cap a l'aire, al mitjà més sec. Per tant l'aigua que conté el purí, en contacte amb l'aire calent i sec, s'evapora a mesura que va augmentant la temperatura dins de l'hivernacle i es va disminuint la humitat relativa de l'aire que hi circula. Efectuant renovacions d'aire dins de l'hivernacle, es redueix la quantitat d'aigua de la fracció sòlida del purí fins a la sequedat òptima.

La font de calor és el Sol, per tant el sistema funciona sempre i quan la radiació solar permeti que l'escalfament de l'aire interior sigui superior a les pèrdues de calor del sistema. Això comporta que durant 5 o 6 mesos de l'any, el procés estigui totalment aturat i s'hagi de tenir en compte l'excedent de purí produït disposant de basses d'emmagatzematge addicionals. A la regió on s'ha realitzat aquest tractament la durada d'un cicle d'assecatge a l'estiu és com a màxim de 9 dies.

Aquesta tècnica ofereix una nova sortida al purí, encaixant perfectament en el sector ramader i alhora essent tècnica i econòmicament possibles.

1.5 DEFINICIÓ DE L'ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA (ACV)

El tractament de residus orgànics és necessari per tal de reduir l'impacte ambiental produït sobre l'aigua, l'aire i el sòl, i alhora és essencial per poder donar-li un valor afegit. No obstant, cal tenir present que els tractaments aplicats a aquests residus també provoquen una sèrie d'impactes ambientals degut principalment al consum energètic i a les emissions de contaminants al sòl i a l'aire. És per això que tenim la necessitat de disposar d'una eina potent, sistemàtica i objectiva que pugui avaluar la incidència ambiental dels productes i que inclogui totes les seves etapes de la vida i tots els seus possibles impactes (Fullana i Puig, 1997).

Segons la SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*), una Anàlisi del Cicle de Vida (ACV) és un "procés objectiu que permet avaluar les càrregues ambientals associades a un producte, procés o activitat, identificant i quantificant l'ús de matèria i energia i emissions a l'entorn; per tal de determinar l'impacte que la utilització d'aquests recursos i les emissions que produeixen en el medi ambient, i avaluar i dur a terme estratègies de millora ambiental. L'estudi inclou el cicle complet del producte, procés o activitat, tenint en compte les etapes d'extracció i processament de matèries primeres; producció, transport i distribució; ús, reutilització i manteniment, i reciclatge i disposició del residu".

L'Anàlisi del Cicle de Vida pot ajudar a identificar possibles accions i/o intervencions per disminuir l'impacte ambiental de productes o processos a les diferents etapes del seu cicle de vida i proporcionar coneixements a qui pren les decisions, per tal que es realitzin les modificacions necessàries. Cal esmentar que l'ACV només considera els aspectes ambientals i deixa de banda els aspectes socials i econòmics.

Els estudis d'ACV es regeixen segons la normativa elaborada per la ISO (*International Standards Organization*) que va redactar una sèrie de normatives per normalitzar el seu ús:

- UNE-EN ISO 14040 → *Environmental management - Life Cycle Assessment – Principles and framework.*
- UNE-EN ISO 14044 → *Environmental management - Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines.*

Com es mostra en l'esquema (Figura 1.4), d'acord amb la metodologia proposada per les ISO, es distingeixen quatre fases en un estudi d'Anàlisi del Cicle de Vida:

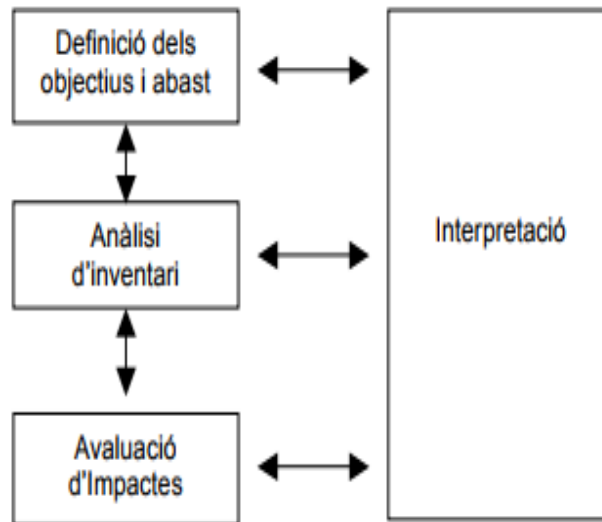


Figura 1.4. Fases d'una Anàlisi del Cicle de Vida segons la normativa ISO 14040.

2. OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest treball és realitzar una Anàlisi del Cicle de Vida del tractament de purins seguint la metodologia proposada per les normes ISO. Per dur a terme l'estudi es disposa d'una planta de tractament de purins basada en l'assecatge solar situada a Folgueroles, terme municipal de la comarca d'Osona.

Un cop recopilades totes les dades necessàries, amb l'ajuda del programa SimaPro 8.4 de Pré-Consultants i utilitzant el mètode ILCD 2011, és realitzarà l'avaluació dels impactes ambientals produïts per aquest tractament.

3. MATERIALS I METODOLOGIA

3.1 DESCRIPCIÓ DE LA PLANTA DE TRACTAMENT

3.1.1 Descripció de l'explotació agrària

L'explotació agrària en la que es troba la instal·lació està situada a la comarca d'Osona en el terme municipal de Folgueroles, al costat dels municipis de Vic i Calldetenes. L'activitat que es desenvolupa és la de ramaderia intensiva de porcí, on s'obté anualment un volum anual de 16820 m³ de purí. A banda dels 6000 porcs d'enceball i 126 truges, també té capacitat per 520 vaques de llet i 320 vedelles de reposició.

3.1.2 Diagrama de flux de l'assecatge solar

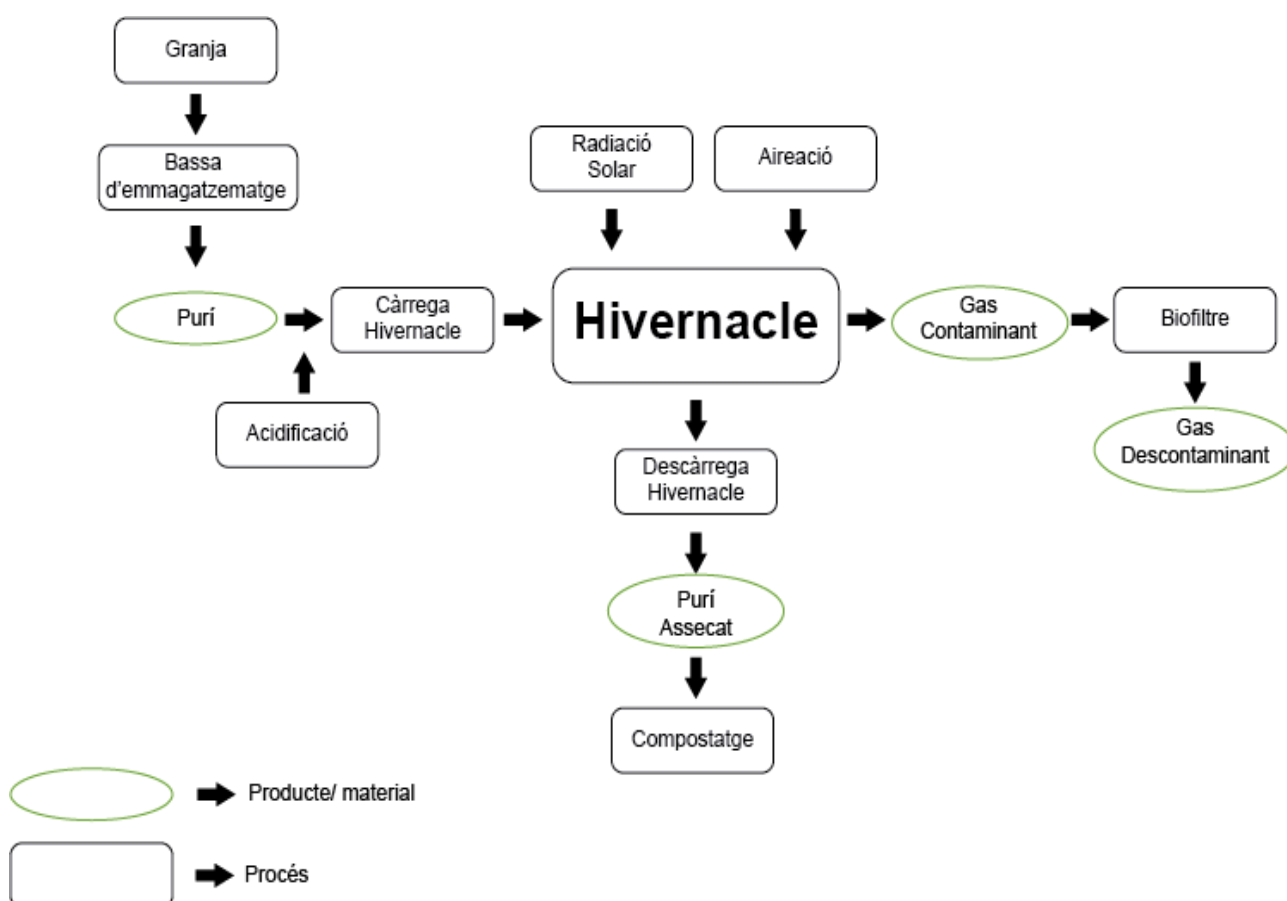


Figura 3.1. Diagrama de flux del procés d'assecatge solar.

La instal·lació consta d'una bassa d'emmagatzematge dimensionada per acumular els purins generats a l'explotació. Com aquesta instal·lació és comuna a altres tipus de tractaments de purins no formarà part d'aquest estudi.

El purí es bombeja a la zona de càrrega de l'hivernacle on s'efectua la seva acidificació amb àcid sulfúric. L'àcid sulfúric és emmagatzemat en un dipòsit d'acer de carboni, un material molt utilitzat a nivell industrial per aquests àcids. Es disposa d'una bomba i d'un inductor d'àcid per dur a terme l'acidificació del purí. A la base del dipòsit, en contacte amb el sòl, es diposita 1,5 cm de gruix de calç per poder neutralitzar l'àcid en cas de fugues.

El funcionament és de forma discontinua, s'omple l'hivernacle de purí, s'asseca i es retira. El purí acidificat entra a l'hivernacle per gravetat gràcies al desnivell entre la zona de càrrega i la sortida de l'hivernacle i també, pel sistema de volteig a l'interior. Hi ha un braç manipulador que realitza voltejos del material, trencant la part seca i exposant la cara més humida augmentant la velocitat d'assecatge i alhora desplaçant el material cap al final de l'hivernacle. Aquest sistema de volteig està construït d'acer, amb un pes aproximat de 500 kg i una potència de 4,4 kW.

Els purins s'estenen en làmines d'uns 10 a 30 cm de profunditat per maximitzar l'exposició de la superfície de contacte cap a la l'aire i durant el seu recorregut al llarg de tot l'hivernacle es va assecant. La descarrega del material sec es fa per l'extrem oposat del que es carrega i cau sobre un cargol sense fi que trasllada el material sec a la zona de compostatge.

El procés d'assecatge es controla mitjançant un sistema automàtic que permet mesurar variables com ara la temperatura i la humitat, tant a l'interior de l'hivernacle com a l'exterior. El rang de funcionament d'aquestes variables regularà el cabal d'aire d'entrada (i el de sortida) optimitzant el procés. Aquest sistema té una potència de 0,25 kW.

A continuació es mostra una fotografia de la planta d'assecatge solar situada a Folgueroles (Figura 3.2).

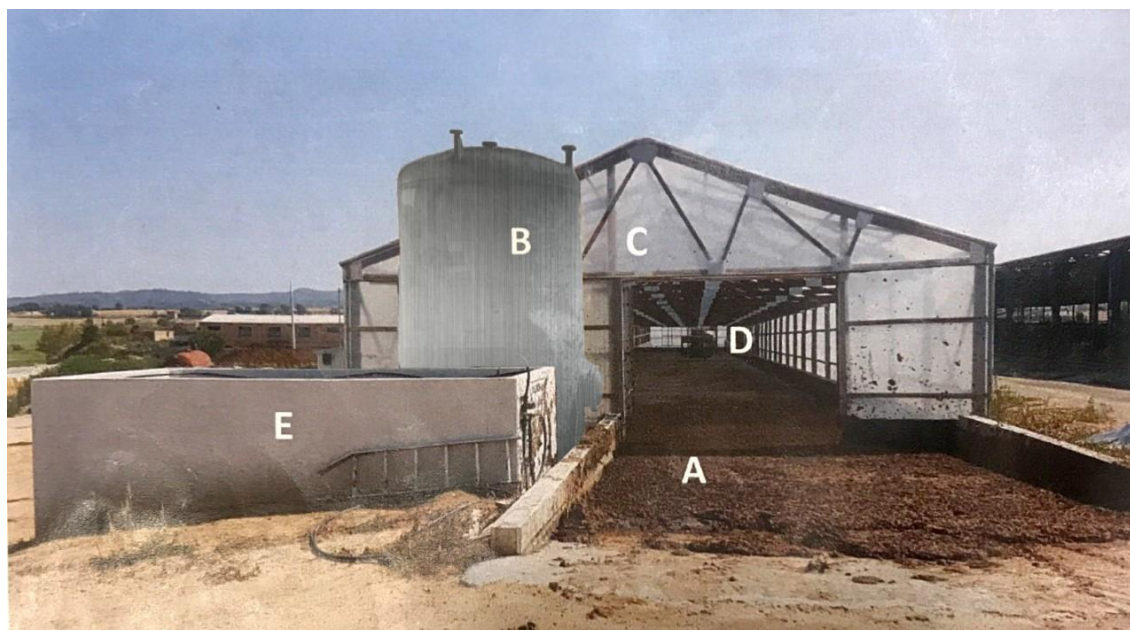


Figura 3.2. Fotografia de la planta d'assecatge solar.

A: càrrega hivernacle, B: dipòsit d'àcid, C: hivernacle, D: braç manipulador i E: biofiltre

L'aire saturat d'aigua pot contenir contaminants com compostos orgànics volàtils i una fracció d'amoníac que han de ser tractats en un biofiltre amb un llit vegetal d'escorça de pi. Segons els assajos realitzats per l'empresa EMA Depuració i Enginyeria de l'Aigua i l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària (IRTA) no es superen els límits d'emissió permessos d'aquests contaminants.

Tot seguit es mostren les característiques del purí a tractar i del material resultant (Taula 3.1):

Taula 3.1. Característiques del purí a tractar i del purí sec (extret de Soler, 2016).

Paràmetre	Unitats	Purí fresc	Purí sec
Cabal	tn/any	6490	
pH		7,76	5,5
Conductivitat	mS/cm a 25°C	20	15-19
Matèria seca	% smh	3,5	55-90
Matèria orgànica	% sms	65	45-54
Amoni	g N/kg sms	3,2	--
Nitrogen total	g N/kg sms	--	65-90
Fòsfor	g P ₂ O ₅ /kg sms	2,1	3-5 g
Potassi	g k ₂ O/kg sms	--	20-35

Les característiques del purí fresc que cal destacar són: el pH neutre/bàsic, ja que caldrà una acidificació posterior per reduir les emissions d'amoníac, el baix contingut de matèria seca i l'alt contingut contaminant d'amoní i de fòsfor. Del producte final

destaca la seva humitat, que és aproximadament del 40% (60% de matèria seca) permetent el seu compostatge.

3.1.3 Descripció tècnica de la instal·lació

3.1.3.1 Bombament i acidificació

L'acidificació del purí és realitza amb l'injecció d'àcid sulfúric (70%) a la sortida de la bomba d'alimentació just a l'entrada de l'hivernacle, on una bomba dosificadora anirà injectant àcid de forma proporcional al cabal de purí bombejat. Un agitador estàtic ens permetrà la mescla completa del àcid amb el purí. Segons les proves realitzades per l'empresa l'acidificació s'aconsegueix addicionant aproximadament 4 kg d'àcid sulfúric per a cada kg de purí fresc. A la Taula 3.2 es mostren les dimensions del dipòsit d'àcid:

Taula 3.2. Mides del dipòsit d'àcid.

Paràmetre	Valor
Diàmetre	2,5 m
Alçada	3 m
Gruix acer	5 mm

Degut a la necessitat d'una capa de 1,5 cm de gruix de calç descrita anteriorment, són necessaris 631,46 kg de calç aproximadament considerant que la densitat de la calç és de 3350 kg/m³. També es necessària la injecció d'antiescumant amb una bomba dosificadora per evitar la formació d'escuma. A continuació es poden veure les característiques de l'equipament necessari:

- I. Bomba d'alimentació: Bomba lobular de 2,5 kW de potència, un pes de 22 kg i un pas de sòlids totals per a purins. Marca Mono, model B05.
- II. Bomba dosificadora d'àcid: Bomba peristàltica de 0,12 kW de potència, un pes de 30 kg i amb un rang molt ampli de cabals. Conté materials aptes per la resistència química, com el tefló. Marca Watson-Marlow, model Qdos.
- III. Injector d'àcid: Injector de polipropilè amb un pes de 3 kg.
- IV. Bomba dosificadora d'antiescumant: Bomba tipus membrana amb accessoris en polietilè amb un cabal de 0,5 l cada hora.
- V. Agitador estàtic: Agitador de polietilè d'alta densitat amb una longitud de 1,3 m. Marca Watts Industries, model DN80.

3.1.3.2 Hivernacle

L'hivernacle és de tipus parral amb l'estructura principal de fusta, d'aquesta manera s'evita la corrosió i s'augmenta la seva vida útil. Disposa d'una coberta de plàstic flexible de polietilè de baixa densitat i d'unes obertures al sostre per afavorir la ventilació natural. L'estructura vertical consisteix en columnes de fusta amb els fonaments de formigó. Tots els complements d'aquest hivernacle estan fets d'acer. A la Taula 3.3 es mostren les característiques del hivernacle:

Taula 3.3. Dimensions de l'hivernacle.

Paràmetre	Valor
Nº Naus	1
Longitud	50 m
Amplada	8,3 m
Alçada carener	3,9 m
Alçada canal	2,8 m
Superfície	415 m ²
Perímetre	116,6 m
Volum	1390,25 m ³

En primer lloc, s'ha previst un moviment de terres per a la construcció d'aquest hivernacle. El terreny s'ha preparat per construir l'hivernacle amb un pendent de l'1% cap a l'extrem oposat per ajudar al seu buidatge. La terra sobrant es reutilitza a la mateixa finca per a millorar l'anivellament i d'aquesta manera evitar el seu transport a l'abocador. El volum estimat de terra retirada és de 162 tones aproximadament, és a dir, 90 m³ considerant que la densitat del sòl en aquesta zona és de 1800 kg/m³.

En segon lloc, es realitza l'estanqueïtat del sòl amb una làmina de polipropilè de 2 mm de gruix recoberta amb fibra geotèxtil, una vegada s'ha compactat i anivellat el sòl. També és necessària la construcció d'un mur perimetral que ens servirà per contenir el purí líquid i com a suport pel pont grua. El mur és de formigó recobert amb la mateixa fibra geotèxtil que la utilitzada per a la làmina, per tal d'assegurar la impermeabilització i com a sistema de prevenció de possibles fuites. Les dimensions del mur són de 20 cm de gruix i 1 m d'alçada.

Per la convenient aireació, l'hivernacle disposa d'un extractor i de quatre ventiladors que assegurin la suficient renovació de l'aire de l'hivernacle i el seu pas final pel biofiltre. Les característiques d'aquests components són les següents:

- **Extractor:** Extractor de 0,74 kW amb un cabal d'aire de 6500 m³/h i un pes de 84 kg, Tenint en compte les pèrdues de càrrega i la longitud a impulsar, el rendiment final és de 5200 m³/h. Marca Munters, Model EM50n.
- **Ventilador:** Ventilador de 1,1 kW i un pes de 74 kg. Marca Solerpalau, model HIB-1250.
- **Tubs de ventilació:** Aquests tubs estan col·locats a la part superior de l'hivernacle per tal de fer circular l'aire cap al biofiltre. Són fabricats de coure i es necessiten 250 m.

3.1.3.3 Biofiltre

El biofiltre és de 10 m² de superfície amb una alçada filtrant de material vegetat de 3 m, el que representa un volum interior de 22,08 m³ de rebliment. El biofiltre està situat sobre un fals fons amb un dipòsit per on circula l'aire i es recullen els possibles lixivats generats. El biofiltre està construït de formigó, d'un sol cos sense juntes. El material vegetal està format principalment per a escorça de coníferes, principalment de pi, amb una grandària d'entre 3 i 15 cm i una densitat de 300 kg/m³. Per tant, es necessiten 6624 kg d'escorça de pi per emplenar el biofiltre.

A la Taula 3.4 és poden veure les dimensions del biofiltre:

Taula 3.4. Mides del biofiltre.

Paràmetre	Valor
Llargada	5 m
Alçada	3 m
Amplada	2 m
Gruix mur	20 cm

3.1.3.4 Altres instal·lacions

- **Instal·lació elèctrica:** La instal·lació es classifica segons l'ITC-BT-35 instal·lacions amb fins agrícoles. El subministrament elèctric s'efectuarà a la línia de baixa tensió, des del quadre general de potència de l'explotació, amb una línia individual.
- **Instal·lació d'aigua:** En l'explotació hi haurà una injecció d'aigua en el biofiltre (per tal de mantenir-lo humit), i en la zona de dosificació d'àcid (per a la neteja de l'utilatge i per el renta ulls).
- **Instal·lació de sanejament:** No es preveu ni un increment ni una modificació en els serveis sanitaris, s'utilitzen els ja existents a la pròpia activitat.

3.2 METODOLOGIA ACV

3.2.1 Origen

L'Anàlisi del Cicle de Vida té el seu origen entre finals dels anys seixanta i principis dels setanta, quan es van fer diversos estudis energètics valorant principalment la eficiència de diferents fonts d'energia degut principalment a la crisi del petroli (Fullana i Puig, 1997). Durant els següents anys diverses companyies, agències, empreses i laboratoris van realitzar diferents estudis per determinar quins productes, principalment embalatges, produïen una quantitat menor d'emissions, un menor consum de recursos i una menor generació de residus. A finals dels anys vuitanta la minimització de residus es va convertir en una acció d'interès, essent l'ACV una eina per analitzar tots aquests problemes ambientals. Als anys noranta es va donar el punt de sortida en el desenvolupament metodològic i en l'aplicació de l'ACV. Això va ser degut a que algunes institucions de referència (la *US-Environmental Protection Agency (US-EPA)*³, la Oficina Federal Suïssa per el Medi Ambient, Boscos i Paisatge⁴ i el Centre de Ciència Ambiental De Leiden⁵ i el Consell Nòrdic⁶) van proporcionar guies metodològiques i bases de dades actualitzades corresponents a les seves àrees geogràfiques. També va tenir molta influència el fet de començar a desenvolupar normes nacionals i internacionals dins de les normes ISO a partir de 1993.

La SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) va publicar al 1993 el primer codi de bones pràctiques⁷, escrit per un grup d'experts en l'ACV degut a la necessitat d'arribar a una metodologia estàndard, ja que quan es realitzaven Anàlisis del Cicle de Vida a productes similars conduïen a resultats conflictius.

3.2.2 Normativa

La complexitat de l'ACV requereix d'un protocol al qual s'adeqüi tot l'estudi de l'ACV. Els estudis d'ACV es regeixen segons el protocol establert per la normativa elaborada per la ISO (*International Standards Organization*), d'aquesta manera s'obté la

³ Vigon B.W. et al.: *Life-Cycle Assessment: Inventory guidelines and principles*, US Environmental Protection Agency (EPA), Cincinnati, 1993.

⁴ BUWAL SRU Nr. 250 *Ökoinventare für Verpackungen, in verarbeitung* (en premsa).

⁵ - Heijungs R. (ed.): *Environmental life cycle assessment of products: backgrounds*, Center of Environmental Science (CML), Leiden, 1992.

- Heijungs R. (ed.): *Environmental life cycle assessment of products: guide*, Center of Environmental Science (CML), Leiden, 1992.

⁶ Lindfors L.G. et al.: *Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment*, Nord 1995:20, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 1995.

⁷ Consoli F. et al. (eds.): *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice"*, Document del workshop celebrat a Sesimbra (Portugal). SETAC-Europe, Bruselas, 1993.

normalització d'aquesta anàlisi. Com he comentat anteriorment, les normatives vigents relacionades amb l'ACV són les següents:

- UNE-EN ISO 14040/2006: Anàlisi del Cicle de Vida, principis i marc de referència. Aquesta norma inclou la definició de l'objectiu i de l'abast de l'estudi, la fase d'anàlisi de l'inventari del cicle de vida, la fase d'avaluació dels impactes, la fase d'interpretació, l'informe i la revisió crítica de l'ACV, les limitacions i la relació entre les seves fases.
- UNE-EN ISO 14044/2006: Gestió Ambiental, Anàlisi del Cicle de Vida, requisits i directrius. Aquesta norma inclou les mateixes fases que la norma anterior, però descriu més detalladament el marc de referència metodològic i la tècnica de l'ACV.

3.2.3 Metodologia

Els estudis de l'ACV es realitzen d'acord amb la metodologia proposada per la normativa ISO 14040. Com he comentat anteriorment, consta de quatre fases: la definició dels objectius i de l'abast de l'estudi; l'anàlisi de l'inventari del cicle de vida amb l'obtenció de les dades (ICV); l'avaluació dels impactes (AICV); i la interpretació dels resultats obtinguts. Com s'ha pogut veure en la Figura 1.4 totes les fases estan relacionades entre si essent una tècnica iterativa que permet anar incrementant el nivell de detall de l'anàlisi en successives iteracions (Antòn, 2004).

A continuació es presenta un resum de la metodologia aplicada en els estudis de l'ACV.

3.2.3.1 Definició dels objectius i de l'abast de l'ACV

Objectius

Dins d'aquest apartat s'inclouen totes les raons per les quals es duu a terme l'estudi i la informació que s'espera obtenir d'aquest. És molt important definir clarament quins són els objectius per poder entendre els diferents passos, conèixer les limitacions i poder realitzar les suposicions necessàries.

Unitat funcional (UF)

La unitat funcional és la unitat a la qual aniran referides totes les entrades i sortides del sistema. Aquesta pot ser de dos tipus:

- Tipus físic: Unitat vàlida per realitzar ACV no comparatius. Exemple: per avaluar el cicle de vida d'un forn, es podria agafar com a unitat funcional un forn de característiques x.
- Tipus funcional: Unitat vàlida per realitzar ACV comparatius. Exemple: per comparar dos calefactores elèctrics podríem agafar com a unitat funcional la quantitat d'electricitat necessària per mantenir calent 1 m² de durant 1 hora.

A l'hora de fer un estudi d'ACV és molt important agafar una unitat funcional adequada al tipus de producte o procés.

Sistema

És el conjunt de processos unitaris o subsistemes que, actuant al mateix temps, realitzen una funció definida. El sistema es representa mitjançant un diagrama de flux que inclou tot el procés de fabricació i el transport de matèries primeres i de components del producte, a més inclou totes les fases del cicle de vida del producte fabricat.

Límits del sistema

Un estudi de l'ACV podria ser infinit per la seva extensió, per tant s'han de posar límits al sistema. És a dir, s'ha de definir clarament quins processos i etapes s'inclouen dins del estudi, quins no i per quina raó. Normalment s'exclouen de l'estudi les etapes que es preveuen que no seran significatives, sempre i quan sigui compatible amb els objectius de l'estudi.

Assignació de càrregues

L'assignació de càrregues es duu a terme sempre que un sistema condueixi a diversos productes o realitzi diverses funcions, i no tots ells entrin dins dels límits de l'estudi. En aquests casos es reparteixen les càrregues ambientals del sistema entre els diferents productes que s'obtenen.

3.2.3.2 Anàlisi d'inventari (ICV)

L'anàlisi d'inventari és un balanç de matèria i energia del sistema. Es basa en la recopilació de dades i la realització dels càlculs adequats per identificar i quantificar les entrades i sortides del sistema estudiat. A la Figura 3.3 es descriuen els passos que s'haurien de realitzar per dur a terme la fase ICV correctament. Les entrades acostumen a ser matèries primeres i energia, mentre que les sortides són emissions a les aigües residuals, al sòl i atmosfèriques. Aquests fluxos materials i energètics han de provenir i/o anar directament a la natura, en cas contrari s'ha d'especificar que l'origen o el destí prové de la tecnosfera, com és el cas de l'electricitat o els residus orgànics.

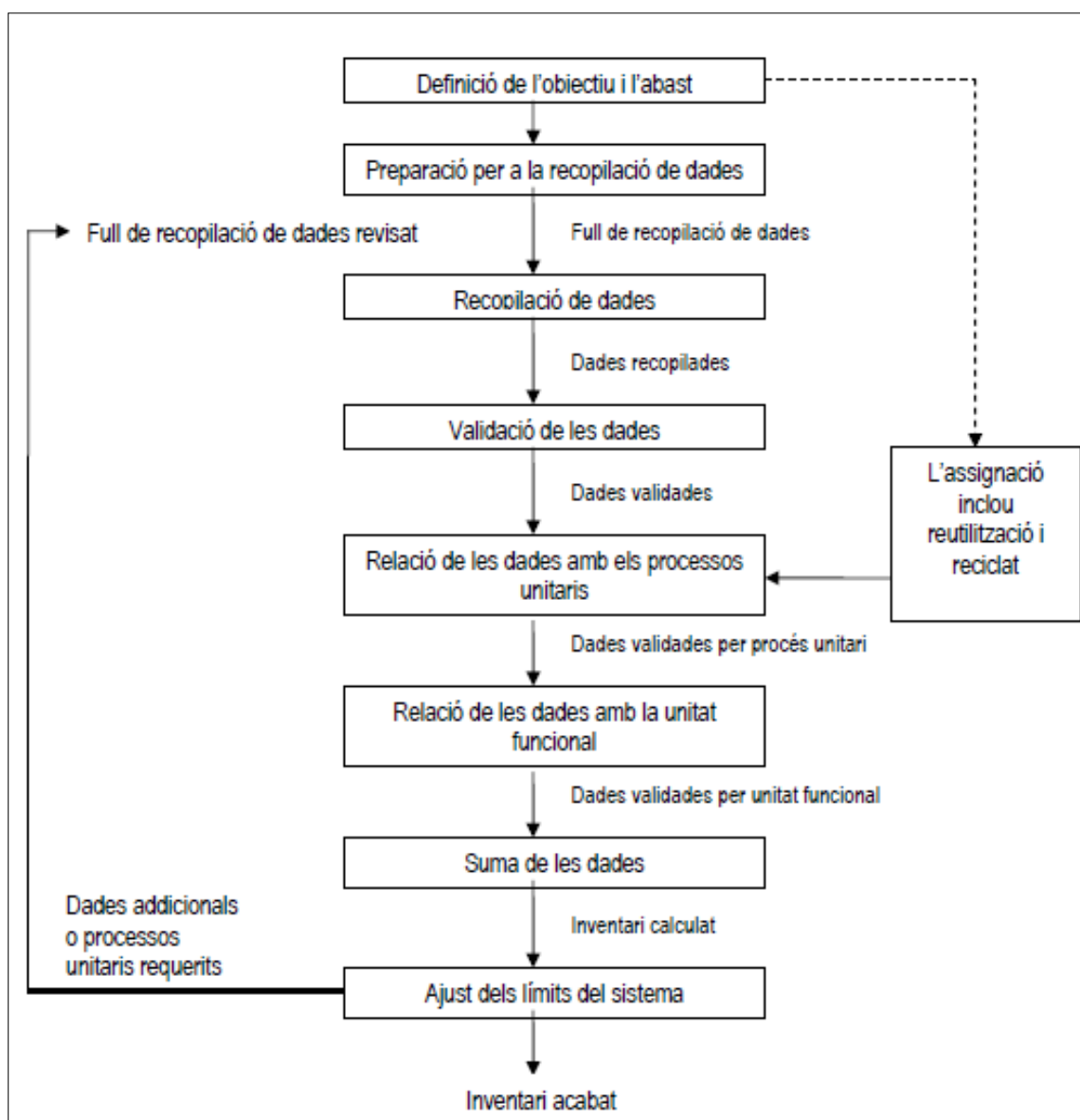


Figura 3.3. Procediments per l'anàlisi d'inventari (extret de la normativa ISO 14044).

Els passos per dur a terme aquesta anàlisi són els següents: elaborar el diagrama de flux, establir la qualitat de les dades, definir els límits del sistema, recopilar dades i redefinir els objectius i l'abast del estudi (Fullana i Puig, 1997). Per realitzar aquest inventari és necessària la recopilació de dades per a cada procés unitari del sistema. Les dades recollides s'utilitzen per quantificar les entrades i sortides d'un procés. Normalment s'agafen dades primàries (dades pròpies del procés, proporcionades per empreses o obtingudes a partir d'enquestes o estadístiques) i dades secundàries (procedents de bases de dades existents).

A continuació es mostren algunes de les bases de dades disponibles al programari SimaPro 8.4 (European Commission, 2010):

- Ecoinvent
- Swiss Input/Output Database
- United States Life Cycle Inventory Database (USLCI)
- Agri-footprint
- Methods (bases de dades dels mètodes d'avaluació).

Per dur a terme aquest inventari també és necessària la utilització d'un full de càlcul i d'un programari específic per tal de facilitar la realització de la fase d'avaluació posterior. La majoria d'aquests programes inclouen bases de dades que poden variar en qualitat i extensió, encara que la majoria de programes comercials contenen bases de dades d'inventaris públics i privats (Antón, 2004). A la Taula 3.5 es poden apreciar els programaris més utilitzats per a l'elaboració d'un ACV. En aquests programaris s'introdueixen les dades obtingudes a l'inventari per realitzar els càlculs de la fase d'avaluació d'impactes ambientals i per obtenir els resultats per les diferents categories d'impacte seleccionades.

Per la realització d'aquest estudi d'Anàlisi del Cicle de Vida s'ha utilitzat el programa informàtic SimaPro 8.4 de Pré-Consultants. Actualment, és una de les eines més utilitzades per realitzar estudis d'ACV i inclou un gran nombre de bases de dades i de metodologies per avaluar l'impacte ambiental (Goedkoop et al., 2016). Les bases de dades seleccionades d'aquest programari són: Ecoinvent, USLCI i Methods.

Un cop obtingudes totes les dades s'han de realitzar els procediments de càlcul d'aquestes, on s'inclouen els passos de validació de les dades, la relació de les dades amb els processos unitaris i amb la unitat funcional i l'ajust dels límits del sistema (Figura 3.3).

Taula 3.5. Principals programes informàtics utilitzats per l'elaboració d'una ACV (Antón, 2004).

Software	Companyia	País	Observació	Més informació
Gabi	Universitat de Stuttgart	Alemanya	Eina clàssica d'ACV però que també ofereix una anàlisi econòmica	www.gabi-software.com
Simapro	Pré-Consultants	Holanda	Compara i analitza productes complexos descomponent-los en tots els seus materials i processos.	www.pre.nl
Umberto	Ifeu-Institut	Alemanya	Preparació d'ACV, ecobalanços empresarials.	www.ifeu.de/umberto.htm
Open LCA	GreenDelta	Alemanya	Eina clàssica d'ACV	www.openlca.org/openlca/

3.2.3.3 Avaluació d'Impactes Ambientals (AICV)

L'objectiu d'aquesta fase és la d'interpretar l'inventari, analitzar i avaluar els impactes produïts per les càrregues ambientals identificades. La fase d'AICV ha de formar part de tot l'ACV, per així poder identificar les parts del sistema que influeixen més en els resultats finals i poder estudiar-les més a fons. Aquesta fase està destinada a millorar la comprensió dels resultats de l'anàlisi de l'inventari (Goedkoop i Spriensma, 2000). Principalment es tracta de processar i analitzar els resultats de l'inventari per agrupar centenars de valors d'intervencions ambientals (emissions, recursos consumits, etc.), en un nombre reduït de categories d'impacte que han sigut seleccionades prèviament.

La majoria d'experts no han desenvolupat nous mètodes per l'anàlisi d'impactes, sinó que utilitzen mètodes ja publicats. Per tant, en aquesta fase apareix una certa subjectivitat alhora de decidir la metodologia que s'aplicarà a l'estudi, ja que els diferents models de categories d'impacte es troben en diferents etapes de desenvolupament.

En els darrers anys, el *World Resources Institute* (WRI) i altres institucions han tingut la necessitat de reduir l'impacte ambiental amb el requeriment de dades i mètodes consistents per avaluar-los (Goedkoop et al., 2016). Per aquest motiu a l'any 2010, la Comissió Europea va publicar el manual del sistema internacional de dades del cicle de vida de referència (ILCD) amb el propòsit de millorar les pràctiques en l'avaluació del cicle de vida, garantint la qualitat i coherència de les dades, així com la metodologia i les avaluacions.

Existeix una iniciativa (UNEP-SETAC, 2013) elaborada per la *United Nations Environmental Program* (UNEP) i per la SETAC, que ens proporciona una guia en la utilització dels indicadors ambientals, seleccionats en funció de la seva rellevància mediambiental i política, així com en funció de la seva maduresa i disponibilitat dels indicadors existents. És a dir, es pretén arribar a un consens sobre els indicadors ambientals i els factors de caracterització recomanats per a l'avaluació d'impactes del cicle de vida en les següents categories d'impacte: canvi climàtic, efectes en la salut humana causats per les emissions de micropartícules, els impactes de l'ús de l'aigua, els impactes de l'ús del sòl sobre la biodiversitat i el marc general de la fase d'avaluació d'impactes.

La fase d'AICV es desenvolupa en quatre etapes establertes per la norma ISO 14040:

1. *Classificació*

És l'etapa qualitativa mitjançant la qual, les entrades i sortides del sistema són assignades a diferents categories d'impacte basant-se en el tipus d'impacte que s'espera sobre el medi ambient. És a dir, l'objectiu principal d'aquesta etapa és descriure els efectes mediambientals potencials de les entrades i sortides i decidir quins impactes es consideraran en l'avaluació.

2. *Caracterització*

És una etapa quantitativa en la que s'avalua la contribució relativa de cada entrada i sortida en la seva categoria d'impacte assignada. Després es totalitzen les contribucions dins de cada categoria. Les dades de les diferents càrregues ambientals s'agreguen dins d'una categoria d'impacte utilitzant uns factors de pes anomenats factors de caracterització. Aquests factors de caracterització són els valors pels quals es multiplica la quantitat emesa d'un contaminat per convertir-lo en quilograms equivalents d'un altre que serveix com a referència per cada categoria d'impacte determinada. La normativa ISO exigeix que aquests factors de caracterització es basin en una ciència ben documentada i comprensible.

Les categories d'impacte que es solen tenir en compte a la majoria d'estudis d'ACV (European Commission, 2012 i Goedkoop et al., 2013) són: el canvi climàtic, la disminució de l'ozó estratosfèric, les partícules en suspensió, l'eutrofització, l'acidificació, la radiació ionitzant, la toxicitat, l'exhauriment de recursos i la formació

d'ozó fotoquímic. En l'apartat de resultats es detallen cadascun dels impactes seleccionats per aquest estudi.

3. Normalització

La normalització mostra fins a quin punt un resultat de l'indicador de les categories d'impacte té un valor relativament alt o baix en comparació amb un valor de referència.

A partir del resultat de l'indicador és pot obtenir una impressió incorrecte, com ara que algun impacte ambiental sigui elevat. Per tant, només es podrà determinar si una dada és alta o baixa si la comparem amb un valor de referència, és a dir, un valor normal extret de les estadístiques.

La normalització s'utilitza per simplificar la fase d'interpretació dels resultats. .

4. Ponderació

Per prioritzar les accions que redueixin els impactes ambientals més problemàtics s'estableix el valor relatiu de cada categoria d'impacte.

La validació, de la mateixa manera que la normalització, s'utilitza per simplificar la fase d'interpretació dels resultats.

3.2.3.4 Interpretació

És la última fase de l'ACV on es combina la informació obtinguda de l'anàlisi d'inventari amb l'obtinguda a la fase d'avaluació d'impactes, per arribar a unes conclusions i recomanacions d'acord amb els objectius i l'abast de l'estudi.

Aquesta etapa permet determinar en quina fase del cicle de vida del producte i/o del procés es generen les principals càrregues ambientals i per tant, quins punts del sistema avaluat han de ser millorats (ISO 14040). La normativa ISO descriu una sèrie de normes per comprovar que les conclusions són les adequades per les dades i per els procediments utilitzats.

3.2.4 Dependència metodològica

Com s'ha comentat anteriorment, a la fase d'avaluació d'impactes es realitzen les etapes de classificació, caracterització, normalització i ponderació. La classificació i la caracterització estan ben definides per la normativa i són de caràcter objectiu, mentre que la normalització i la valoració no ho estan. Això pot ocasionar interpretacions subjectives i diferents en funció del mètode que es triï per avaluar l'impacte. Per aquest motiu la fase de l'AICV és la més crítica ja que si es cometen errors poden afectar a la fase d'interpretació i als resultats finals.

En l'actualitat hi han molts mètodes per avaluar l'impacte ambiental, cadascun dels quals incorpora un conjunt de categories d'impacte determinades i utilitza diferents factors per quantificar els impactes ambientals. A continuació es mostren alguns dels mètodes d'avaluació disponibles al programari SimaPro 8.4 (European Commission, 2010):

- ReCiPe (PRé Consultants, 2013)
- ILCD (European Commission, 2010)
- CML-IA (Leiden University, 2016)
- IPCC (UNEP – Organització mundial de la salut (OMS), 2013)
- Impact World+ (Centre internacional de Referència per el cicle de vida de productes, processos i serveis, (CIRAIG))

D'acord amb la norma ISO 14044 l'indicador d'una categoria d'impacte es pot escollir en qualsevol punt al llarg de l'impacte. Els indicadors associen les dades de l'inventari amb els impactes sobre les àrees de protecció però sempre seguint els criteris descrits pel mètode ILCD (European Commission, 2010). El mètode que es segueix per l'avaluació dels impactes ambientals en aquest estudi és l'ILCD 2011, mètode basat en els indicadors de punt mitjà (*midpoint*).

Per una banda, el mètode *midpoint* modela l'impacte utilitzant un indicador situat en qualsevol punt al llarg de l'impacte, però sempre abans del punt final d'aquest. D'altra banda la caracterització dels indicadors *endpoint* (de punt final), requereix modelar tot el camí fins els impactes sobre les categories descrites per les àrees de protecció, és a dir, la salut humana, el medi natural i els recursos naturals. En el següent esquema (Figura 3.4) es mostra el modelatge d'aquests dos mètodes.

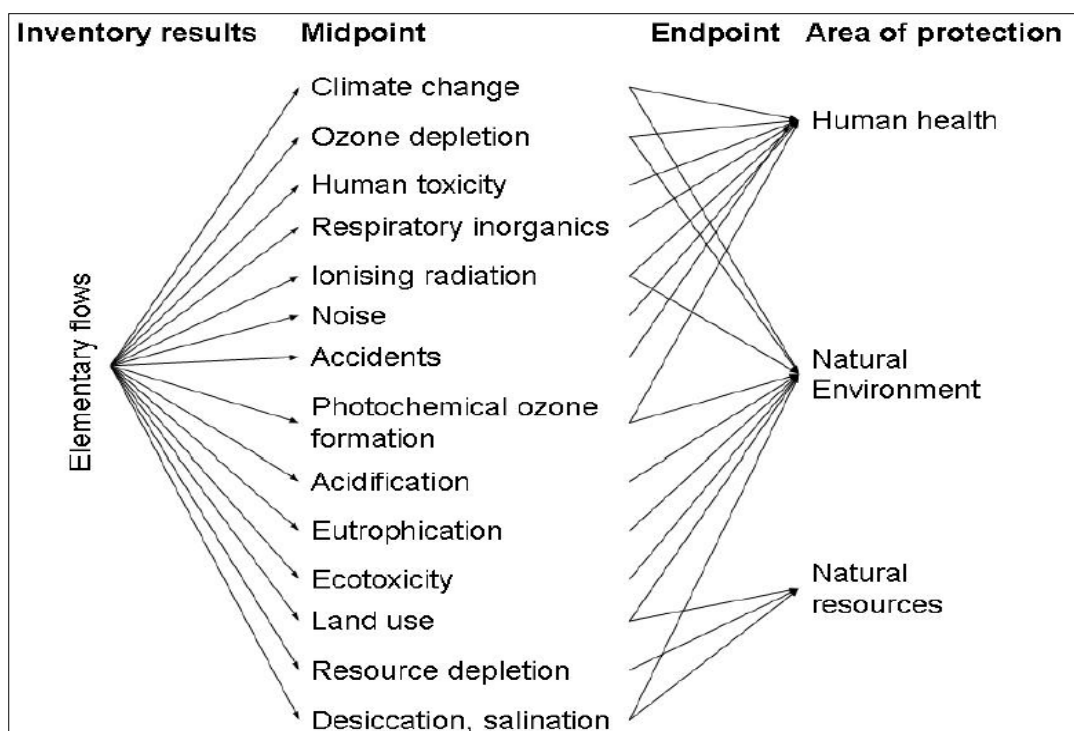


Figura 3.4. Categories d'impacte pel modelatge de la caracterització dels mètodes *midpoint* i *endpoint* (extret de l'European Commission, 2010).

Cal tenir present, que sovint es troben discrepàncies pràctiques quan els models subjacents dels indicadors *midpoint* i *endpoint* es diferencien dels sistemes que es modelen. Per aquest motiu, és desitjable l'harmonització d'aquests mètodes d'avaluació d'impactes. Alguns models que combinen els mètodes *midpoint* i *endpoint* són el ReCiPe i l'Impact World⁺.

És important destacar que aquests mètodes estan desenvolupats a diferents països, principalment a Europa Central. Per tant, els factors de caracterització que utilitzen estan determinats per els països en què han estat desenvolupats. Malgrat que hi ha indicadors de categories d'impacte que són universals (canvi climàtic, disminució de l'ozó estratosfèric, etc) altres depenen de les característiques locals (eutrofització, acidificació, etc). Per tant, els factors de caracterització haurien d'adaptar-se a les diferents condicions de la zona en que es realitza l'ACV, per tal de poder avaluar l'impacte ambiental d'una forma més fiable i objectiva. Per aquest motiu, la iniciativa UNEP-SETAC i el projecte LC-IMPACT estan treballant en el desenvolupament de factors de caracterització locals.

La complexitat de la quantitat d'informació necessària en l'inventari i de la simplificació en la caracterització dels impactes fa que la incertesa en els resultats sigui alta, aspecte que caldrà contemplar en estudis comparatius.

3.2.5 Avantatges i inconvenients de la utilització de l'ACV

La utilització de la metodologia de l'ACV consta de diferents avantatges i inconvenients detallats a continuació:

Avantatges

- Es consideren tots els passos del cicle de vida d'un producte o procés, evitant l'externalització dels problemes.
- Es tracta d'un conjunt sistemàtic de procediments que quantifiquen els impactes ambientals.
- Utilitza una metodologia normalitzada.
- És l'eina més reconeguda pel càlcul d'impactes ambientals a nivell de polítiques europees.
- Pretén cobrir tots els aspectes ambientals potencialment negatius.

Inconvenients

- Manca de consens científic en el càlcul d'emissions i en el desenvolupament d'algunes categories d'impacte (ús del sòl, eutrofització).
- Alta complexitat.
- Requereix una inversió econòmica, degut principalment al temps i als coneixements necessaris per dur a terme l'ACV.
- Manca de disponibilitat de dades locals i específiques.

3.3 DEFINICIÓ DELS OBJECTIUS I DE L'ABAST DE L'ESTUDI

3.3.1 Objectius de l'ACV

L'objectiu principal d'aquest estudi és avaluar l'impacte ambiental del tractament de purins basat en l'assecatge solar, sota unes condicions òptimes d'assecatge mitjançant el control climàtic i la convenient aireació forçada de l'hivernacle. Els resultats obtinguts ajudaran, a qui pren les decisions, a millorar les infraestructures i/o el maneig de l'explotació mitjançant les modificacions que hi pertoquin.

3.3.2 Unitat funcional (UF)

La unitat funcional és la del tractament d'un m³ de purí, tenint en compte que durant un any s'han tractat 6490 m³ de purí en la planta descrita anteriorment. Com que la densitat del purí de porc és aproximadament de 1000 kg/m³ (Orús et al., 2010) la unitat funcional coincideix amb una tona de purí.

3.3.3 Descripció del sistema

Per descriure els sistema correctament s'utilitza un diagrama de flux que mostra els processos unitaris i les seves interrelacions (Figura 3.5).

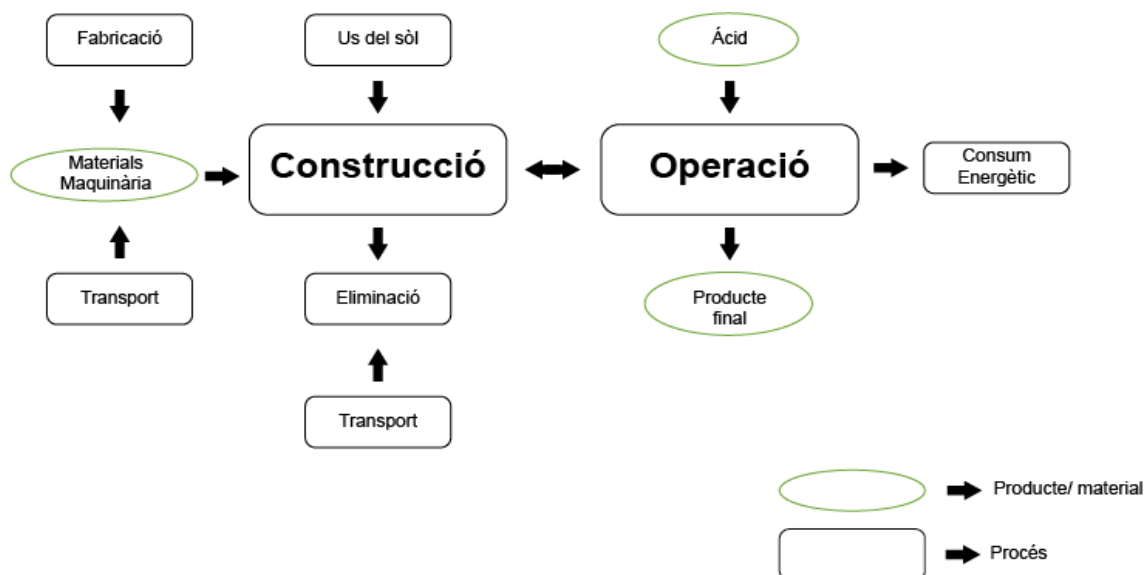


Figura 3.5. Diagrama de flux de l'ACV de la planta de tractament.

Per la realització d'aquest estudi s'ha considerat un sistema que inclou l'entrada de purí prèviament acidificat a l'hivernacle, l'assecatge d'aquest purí amb les condicions adequades esmentades amb anterioritat i l'obtenció d'un producte final i d'un gas descontaminat, un cop tractat amb el biofiltre.

Per realitzar aquesta anàlisi l'estudi s'ha dividit en dos fases. La fase que inclou la infraestructura on es consideren tots els materials i la maquinària necessaris per construir aquesta instal·lació, així com els processos de fabricació i d'eliminació d'aquests. La següent fase és la fase d'operació, on s'ha tingut en compte el funcionament de la planta de tractament durant un any.

3.3.4 Límits del sistema

És de gran importància limitar clarament quins processos i etapes s'inclouen dins de l'estudi i quins no, ja que un estudi d'ACV pot resultar extensíssim. Hi ha factors que determinen aquests límits, com ara l'aplicació prevista de l'estudi i els seus objectius, els criteris d'exclusió, les dades i les limitacions econòmiques. Principalment s'exclouen de l'estudi les etapes que es preveuen que no seran significatives. A continuació es mostren els elements i els processos que no s'han considerat degut a la seva poca repercussió sobre els resultats finals o bé perquè són etapes no exclusives d'aquest tractament com ara la bassa d'emmagatzematge o el compostatge i seran objecte d'estudi en futurs treballs.

A la fase de construcció no s'han tingut en compte els següents elements i/o processos:

- Bassa d'emmagatzematge de purins a tractar.
- Procés posterior de compostatge de l'escorça de pi (reutilització del residu).
- L'agitador estàtic.
- L'antiescumant i la seva bomba dosificadora.
- La instal·lació d'aigua.
- La instal·lació elèctrica.
- Sensors de temperatura i humitat relativa.

A la fase d'operació no s'han considerat els següents processos:

- Emissions de gasos contaminants.
- Procés de producció de purins.
- Procés posterior de compostatge del producte final.

Per la realització d'aquest ACV no s'ha considerat el procés posterior de compostatge de l'escorça de pi, ja que formaria part del procés de compostatge del producte final (purí sec) i com s'ha dit anteriorment, no és una etapa exclusiva d'aquest tractament i serà objecte d'estudi en altres treballs.

Les emissions de gasos contaminants tampoc han estat considerades degut a la neutralització total de l'amoniac i el tractament dels altres gasos generats amb el biofiltre de llit vegetal.

Com s'ha pogut observar, els sensors no s'han tingut en compte a la fase de construcció, però sí a la fase d'operació, per tal d'aproximar-nos més a la realitat en relació als consums energètics.

3.3.5 Assignació de càrregues

En aquest estudi no s'haurà de realitzar l'assignació de càrregues corresponents, ja que tots els processos unitaris del sistema tenen una única funció i produeixen un únic producte i residu.

3.3.6 Fonts de les dades

La qualitat i la incertesa de les dades utilitzades a l'inventari influiran en la interpretació dels resultats. L'anàlisi de la qualitat de les dades és un element opcional en un estudi d'ACV encara que pot ajudar a entendre la fiabilitat dels resultats de la fase d'AICV. En el cas d'estudis comparatius és considerada obligatori.

Les dades que s'utilitzen en aquest ACV procedeixen d'instal·lacions, de catàlegs de maquinària i/o elements (bombes, extractor, etc), de diferents bases de dades i de taules extretes del llibre *Principios de transferencia de calor* (Kreith, 2002). En general, s'han utilitzat dades corresponents als últims 10 anys per tal d'aconseguir que siguin el màxim de representatives possible. A la Taula 3.6 es mostra l'origen de les dades utilitzades per a la realització d'aquest ACV.

Taula 3.6. Origen de les dades.

		Projecte constructiu	Catàlegs fabricants	Kreith, 2002
Bombament i acidificació	Bomba d'alimentació purins	√	√	
	Bomba dosificadora d'àcid	√	√	
	Injector d'àcid	√	√	
Dipòsit àcid	Material de fabricació	√		
	Dimensions	√		
	Densitats (àcid i calç)			√
Hivernacle	Mur de contenció	√		
	Braç manipulador	√		
	Làmina de polietilè	√		
	Densitats (sòl i polietilè)	√		√
	Dimensions hivernacle	√		
Aireació	Extractor	√	√	
	Ventiladors	√	√	
Biofiltre	Material de fabricació	√		
	Dimensions	√		
	Densitat llit vegetal	√		√
	Hores funcionament element/maquinària	√		

3.3.7 Incertesa de les dades

Com s'ha explicat anteriorment totes les dades utilitzades en els estudis d'ACV tenen alguna incertesa. Pel càlcul estadístic de l'error que introdueixen les nostres dades es segueix el mètode descrit per Ecoinvent (Weidema et al., 2013), on es calculen dos tipus d'incerteses:

i. Incertesa bàsica (U_b)

La incertesa bàsica fa referència a l'error que poden introduir les dades. A la Taula 3.7 s'observen els diferents factors d'incertesa bàsica utilitzats per tal d'estimar o mesurar els errors de les dades.

Taula 3.7. Factors d'incertesa bàsica; c: emissions de la combustió; p: emissions del procés; a: emissions de l'agricultura (extret de Weidema et al., 2013).

input / output group	c	P	a	input / output group	c	p	a
demand of:				pollutants emitted to air:			
thermal energy, electricity, semi-finished products, working material, waste treatment services	1.05	1.05	1.05	CO ₂	1.05	1.05	
transport services (tkm)	2.00	2.00	2.00	SO ₂	1.05		
Infrastructure	3.00	3.00	3.00	NMVOG total	1.50		
resources:				NO _x , N ₂ O	1.50		1.40
primary energy carriers, metals, salts	1.05	1.05	1.05	CH ₄ , NH ₃	1.50		1.20
land use, occupation	1.50	1.50	1.10	Individual hydrocarbons	1.50	2.00	
land use, transformation	2.00	2.00	1.20	PM>10	1.50	1.50	
pollutants emitted to water:				PM10	2.00	2.00	
BOD, COD, DOC, TOC, inorganic compounds (NH ₄ , PO ₄ , NO ₃ , Cl, Na etc.)		1.50		PM2.5	3.00	3.00	
individual hydrocarbons, PAH		3.00		Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)	3.00		
heavy metals		5.00	1.80	CO, heavy metals	5.00		
Pesticides			1.50	inorganic emissions, others		1.50	
NO ₃ , PO ₄			1.50	Radionuclides (e.g., Radon-222)		3.00	
pollutants emitted to soil:							
oil, hydrocarbon total		1.50					
heavy metals		1.50	1.50				
Pesticides			1.20				

ii. Incertesa addicional sobre la qualitat de les dades

Fa referència a la incertesa obtinguda de la font de les dades és a dir, la qualitat d'on provenen. La font de les dades s'avalua mitjançant cinc característiques: fiabilitat (grau d'exactitud de la dada), representativitat (condició de disposar de dades representatives del sistema estudiat), correlació temporal (diferència temporal entre la dada emprada i real), correlació geogràfica (diferència geogràfica entre la dada emprada i real) i la correlació tecnològica (diferència tecnològica entre la dada emprada i real). Cada característica es divideix en cinc nivells de qualitat que es tradueixen en una puntuació d'entre 1 i 5, de més a menys qualitat (Taula 3.8).

Taula 3.8. Matriu utilitzada per avaluar la qualitat de la font de les dades (extret de Weidema et al., 2013).

Indicator score	1	2	3	4	5 (default)
Reliability	Verified ³ data based on measurements ⁴	Verified data partly based on assumptions <i>or</i> non-verified data based on measurements	Non-verified data partly based on qualified estimates	Qualified estimate (e.g. by industrial expert)	Non-qualified estimate
Completeness	Representative data from all sites relevant for the market considered, over an adequate period to even out normal fluctuations	Representative data from >50% of the sites relevant for the market considered, over an adequate period to even out normal fluctuations	Representative data from only some sites (<<50%) relevant for the market considered <i>or</i> >50% of sites but from shorter periods	Representative data from only one site relevant for the market considered <i>or</i> some sites but from shorter periods	Representativeness unknown or data from a small number of sites <i>and</i> from shorter periods
Temporal correlation	Less than 3 years of difference to the time period of the dataset	Less than 6 years of difference to the time period of the dataset	Less than 10 years of difference to the time period of the dataset	Less than 15 years of difference to the time period of the dataset	Age of data unknown or more than 15 years of difference to the time period of the dataset
Geographical correlation	Data from area under study	Average data from larger area in which the area under study is included	Data from area with similar production conditions	Data from area with slightly similar production conditions	Data from unknown <i>or</i> distinctly different area (North America instead of Middle East, OECD-Europe instead of Russia)
Further technological correlation	Data from enterprises, processes and materials under study	Data from processes and materials under study (i.e. identical technology) but from different enterprises	Data from processes and materials under study but from different technology	Data on related processes or materials	Data on related processes on laboratory scale <i>or</i> from different technology

El factor d'incertesa addicional s'atribueix a cadascuna de les puntuacions donades a les cinc característiques. A la Taula 3.9 es poden observar els diferents factors d'incertesa que s'apliquen per transformar els nivells de qualitat de les diferents característiques en els factors d'incertesa addicional, i així poder calcular la incertesa total (incertesa bàsica + incertesa addicional).

Taula 3.9. Factors d'incertesa sobre la qualitat de les dades utilitzats per calcular la incertesa total (extret de Weidema et al., 2013).

Indicator score	1	2	3	4	5
Reliability	1.00	1.05	1.10	1.20	1.50
Completeness	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20
Temporal correlation	1.00	1.03	1.10	1.20	1.50
Geographical correlation	1.00	1.01	1.02	1.05	1.10
Further technological correlation	1.00	1.05	1.20	1.50	2.00

Per realitzar el càlcul de la incertesa total, que s'expressa com la contribució al quadrat de la desviació estàndard geomètrica, es calcula amb la següent expressió:

$$SD = \sigma_g^2 = e^{\sqrt{[\ln(U_1)]^2 + [\ln(U_2)]^2 + [\ln(U_3)]^2 + [\ln(U_4)]^2 + [\ln(U_5)]^2 + [\ln(U_b)]^2}}$$

On:

- U_1 : Factor d'incertesa de la fiabilitat
- U_2 : Factor d'incertesa de la representativitat
- U_3 : Factor d'incertesa de la correlació temporal
- U_4 : Factor d'incertesa de la correlació geogràfica
- U_5 : Factor d'incertesa de la correlació tecnològica
- U_b : Factor d'incertesa bàsica

Per acabar cal mencionar que totes les emissions (outputs) per defecte són sempre positives, per tant la distribució seleccionada per a totes les dades és la de lognormal.

3.4 ANÀLISI DE L'INVENTARI DEL CICLE DE VIDA DE L'ESTUDI (ICV)

3.4.1 Recopilació de les dades

Tal i com s'ha esmentat a les fonts i qualitat de les dades, les dades que s'utilitzen són:

- Dades procedents de la instal·lació ubicada al municipi de Folgueroles (projecte constructiu).
- Dades extretes de catàlegs de diferents fabricants.
- Dades extretes del llibre *Principios de transferencia de calor* (Kreith, 2002).
- Dades procedents de diferents bases de dades.

3.4.2 Quantificació de les dades

En aquest apartat es mostren els càlculs realitzats per poder obtenir l'inventari per les dues fases una cop recopilades totes les dades necessàries.

Els càlculs realitzats a la fase de construcció són els següents:

- **Ús del sòl**

Per realitzar l'estudi es considera una superfície total de 450 m².

- **Adaptació terreny**

- Excavació: Densitat sòl 1800 kg/m³ i s'extrauen 20 cm de sòl per poder dur a terme l'adaptació del terreny.

$$kg \text{ sòl extret} = 450m^2 * 0,2m * 1800 \frac{kg}{m^3} = \mathbf{162000 kg}$$

- Làmina aïllant de polietilè de baixa densitat: Densitat 940 kg/m³

$$m^3 \text{ de làmina necessaris} = \text{Areà total} * \text{gruix làmina}$$

$$m^3 \text{ de làmina necessaris} = 450m^2 * 0,002m = 0,9m^3$$

$$kg \text{ de làmina necessaris} = 0,9m^3 * 940 \frac{kg}{m^3} = \mathbf{846 kg}$$

- **Hivernacle**

Les dimensions i les fórmules pel càlcul de la quantitat de material necessari per construir l'hivernacle s'ha extret de l'article *Modelling the amount of materials to improve inventory datasets of greenhouse infrastructures* (Antón et al., 2013).

S= Superfície de l'hivernacle (m²)

N= Nombre de naus (1)

V= Volum de l'hivernacle (m³)

- Fusta:

$$\frac{kg \text{ fusta}}{m^2} = 5 * (S)^{-0,173}$$

$$kg \text{ fusta} = (5 * (415m^2)^{-0,173}) * 415m^2 = \mathbf{731,3 kg}$$

- Formigó: Densitat 2400 kg/m³.

$$\frac{kg \text{ formigó}}{m^2} = 0,067 * (S)^{-0,28}$$

$$kg \text{ formigó} = (0,067 * (415m^2)^{-0,28}) * 415m^2 = 5,141kg$$

$$m^3 \text{ formigó} = \frac{5,141kg}{2400 \frac{kg}{m^3}} = \mathbf{0,00214 m^3}$$

- Acer:

$$\frac{kg\ acer}{m^2} = 161,12 * \frac{V^{-0,77}}{N}$$

$$kg\ acer = \left(161,12 * \frac{1390,25^{-0,77}}{1} \right) * 415m^2 = \mathbf{254,107\ kg}$$

- Polietilè de baixa densitat:

$$\frac{kg\ polietilè\ baixa\ densitat}{m^2} = 0,374 * (S)^{-0,058}$$

$$kg\ polietilè\ baixa\ densitat = (0,374 * (415m^2)^{-0,058}) * 415m^2 = \mathbf{109,414\ kg}$$

- Polietilè d'alta densitat:

$$\frac{kg\ polietilè\ alta\ densitat}{m^2} = 213,01 * (S)^{-0,976}$$

$$kg\ polietilè\ alta\ densitat = (213,01 * (415m^2)^{-0,976}) * 415m^2 = \mathbf{246,169kg}$$

- Polipropilè:

$$\frac{kg\ polipropilè}{m^2} = 1,176 * \frac{V^{-0,27}}{N}$$

$$kg\ polipropilè = \left(1,176 * \frac{1390,25^{-0,27}}{1} \right) * 415m^2 = \mathbf{69,154\ kg}$$

- Murs de contenció: 1 m d'alçada i 20 cm de gruix. Cal recordar, que l'hivernacle té una amplada de 8,3 m i una llargada de 50 m.

$$Volum\ total\ formigó = ((1m * 0,2m * 8,3m) * 2) + ((1m * 0,2m * 50m) * 2)$$

$$Volum\ total\ formigó = \mathbf{23,32\ m^3}$$

- **Dipòsit d'àcid**

- Acer de carboni: Densitat 7850 kg/m³ i gruix de 5 mm.

$$Volum\ total = \pi * r^2 * h = \pi * 1,25^2 * 3 = 14,73\ m^3$$

$$Volum\ interior = \pi * (r - gruix)^2 * h = \pi * (1,25 - 0,005)^2 * 3 = 14,61\ m^3$$

$$Volum\ acer = Volum\ total - volum\ interior$$

$$Volum\ acer = 14,73 - 14,61 = 0,12\ m^3$$

$$kg\ acer\ de\ carboni = 0,12\ m^3 * 7850 \frac{kg}{m^3} = \mathbf{922,957\ kg}$$

- Calç: Densitat 3350 kg/m³ i gruix de 1,5 cm. Per realitzar el càlcul del volum total de calç necessari es tindrà en compte un radi major que el del dipòsit per així, poder incloure més superfície de neutralització.

$$Volum\ calç = \pi * r^2 * h = \pi * 2^2 * 0,015m = 0,189\ m^3$$

$$kg\ calç = 0,189\ m^3 * 3350\ \frac{kg}{m^3} = 631,46\ kg$$

- **Biofiltre**

- Formigó: Gruix de 20 cm.

$$Volum\ formigó = Volum\ total - volum\ interior = 7,92\ m^3$$

$$Volum\ interior = (Amplada - gruix) * (llargada - gruix) * alçada$$

$$Volum\ interior = (2 - 0,20) * (5 - 0,20) * 3 = 22,08\ m^3$$

$$Volum\ formigó = 30 - 22,08 = 7,92\ m^3$$

- Escorça de pi: Densitat 300 kg/m³

$$Volum\ d'escorça = Volum\ interior$$

$$Volum\ de\ rebliment = (2 - 0,20) * (5 - 0,20) * 3 = 22,08\ m^3$$

$$kg\ d'escorça = 22,08m^3 * 300\ \frac{kg}{m^3} = 9000\ kg$$

És important recordar que molts elements utilitzats no han requerit d'un procés de càlcul, sinó que directament s'han extret dels catàlegs del seus respectius fabricants. Aquests elements són els següents: la bomba d'alimentació, la dosificadora d'àcid, l'injector d'àcid, el braç manipulador i l'aireació (extractor i ventiladors).

Tot seguit es mostren els càlculs realitzats a la fase d'operació:

- **Producte**

- Purí fresc: Densitat 1000 kg/m³ i amb una producció de 6490 m³ de purí fresc a l'any s'obtenen 6490 tones de purí fresc.
- Purí assecat: Durant un any s'obté un total de 379000 kg de purí assecat òptim pel compostatge.

- **Àcid**

Com es necessiten 4 kg d'àcid per cada kg de purí fresc, en total es necessiten 25960 tones d'àcid.

- **Consum energètic**

$$\text{Consum elèctric} = \text{potència} * \text{Hores de funcionament al dia}$$

- Bomba d'alimentació:

$$\text{Consum elèctric} = 2,5 \text{ kW} * \frac{1 \text{ Hora}}{\text{dia}} * 365 \text{ dies} = \mathbf{912,5 \text{ kWh}}$$

- Bomba dosificadora d'àcid:

$$\text{Consum elèctric} = 0,12 \text{ kW} * \frac{1 \text{ Hora}}{\text{dia}} * 365 \text{ dies} = \mathbf{43,8 \text{ kWh}}$$

- 4 Ventiladors:

$$\text{Consum elèctric} = \left(1,1 \text{ kW} * \frac{6 \text{ Hora}}{\text{dia}} * 365 \text{ dies} \right) * 4 = \mathbf{9636 \text{ kWh}}$$

- Extractor:

$$\text{Consum elèctric} = 0,74 \text{ kW} * \frac{8 \text{ Hora}}{\text{dia}} * 365 \text{ dies} = \mathbf{2160,8 \text{ kWh}}$$

- Braç manipulador:

$$\text{Consum elèctric} = 4,4 \text{ kW} * \frac{2 \text{ Hora}}{\text{dia}} * 365 \text{ dies} = \mathbf{3212 \text{ kWh}}$$

- Automatisme i control: pren nota cada 2 hores

$$\text{Consum elèctric} = 0,25 \text{ kW} * \frac{12 \text{ Hora}}{\text{dia}} * 365 \text{ dies} = \mathbf{1095 \text{ kWh}}$$

3.4.3 Resultats de l'inventari del cicle de vida

A la fase de construcció tots els càlculs són obtinguts en funció d'un any, s'aplica la duració de vida corresponent a cada material o maquinària. La quantitat total de cada component es divideix per la vida útil corresponent per d'aquesta manera obtenir el material/maquinària necessari per un any. A la fase d'operació es realitzen tots els càlculs considerant el funcionament d'un any de la planta. Totes les dades obtingudes són dividides per la quantitat anual de purí generat per tal d'obtenir tot el material/energia necessari per a cada m³ de purí. Un cop calculades i introduïdes al programari, s'obtidran tots els impactes respecte a l'unitat funcional.

Els resultats de l'inventari del cicle de vida es recullen en les següents taules per a les dues fases considerades (Taula 3.10-3.13).

Taula 3.10. Resultats de l'inventari per a la fase de construcció.

	Unitats	Quantitat total	Quantitat anual	Duració de vida	Valor relacionat amb la UF
SÒL					
Ús del sòl	m ²	450	30	15	0,00462
Làmina de polietilè	kg	846	141	6	0,0217
Sòl excavat	kg	162000	-	-	24,961
HIVERNACLE					
Fusta	kg	731,300	48,753	15	0,000013
Acer	kg	254,107	16,940	15	0,00261
Formigó fonaments	m ³	0,00214	0,000143	15	0,000000022
Polietilè de baixa densitat	kg	109,414	18,236	6	0,00281
Polietilè d'alta densitat	kg	246,169	41,028	6	0,00632
Polipropilè	kg	69,154	11,526	6	0,00178
Formigó murs	m ³	23,32	1,555	15	0,00024
DIPÒSIT D'ÀCID					
Acer de carboni	kg	922,957	61,530	15	0,00948
Cal	kg	631,460	210,487	3	0,0325
Acer (Bomba d'àcid)	kg	30	2	15	0,000308
Polipropilè (Injector àcid)	kg	3	0,5	6	0,000077
BIOFILTRE					
Escorça de pi	kg	9000	3000	3	0,340
Formigó	m ³	7,920	0,528	15	0,0000814
BRAÇ MANIPULADOR					
Acer	kg	500	33,333	15	0,00514
AIREACIÓ					
Acer (4 Ventiladors)	kg	296	49,333	6	0,0076
Acer (1 Extractors)	kg	84	14	6	0,00216
CÀRREGA HIVERNACLE					
Acer (Bomba d'alimentació)	kg	22	1,467	15	0,000226
TRANSPORT MATERIAL					
Camió	tones*km (tkm)	100 km	780,821	-	0,120

Taula 3.11. Processos de fabricació dels materials i/o maquinària.

	Unitats	Quantitat total	Quantitat anual	Duració de vida	Valor relacionat amb la UF
Fabricació fusta	kg	731,300	48,753	15	0,000013
Fabricació acer	kg	254,107	16,940	15	0,00261
Fab. polietilè de baixa densitat	kg	955,414	159,236	6	0,0245
Fab. polietilè d'alta densitat	kg	246,169	41,028	6	0,00632
Fabricació polipropilè canal	kg	69,154	11,526	6	0,00178
Fabricació tubs ventilació	m	250	41,667	6	0,00642
Fabricació ventiladors	kg	296	49,333	6	0,00760
Fabricació extractor	kg	84	14	6	0,00216
Fabricació polipropilè injector	kg	3	0,5	6	0,000077
Fabricació màquina volteig	kg	500	33,333	15	0,00514
Fabricació dipòsit àcid	kg	922,957	61,530	15	0,00948
Fabricació bomba àcid	kg	30	2	15	0,000308
Fabricació bomba alimentació	kg	22	1,467	15	0,000226

Taula 3.12. Processos d'eliminació dels materials i/o maquinària.

	Comentari	Unitats	Quantitat total	Quantitat anual	Valor relacionat amb la UF
Eliminació estructura (fusta, formigó, acer i plàstic)		kg	78511,023	5227,557	0,805
Eliminació elements (Dipòsit àcid, biofiltre, volteig, aireació)		kg	9113,417	2580,650	0,398
Eliminació total (elements + estructura)		kg	87624,440	7808,207	1,203
Eliminació formigó	Eliminació final	kg	74981,141	4998,743	0,770
Eliminació fusta	Incineració	kg	731,300	48,753	0,00751
Eliminació acer	Reciclatge	kg	2109,063	178,604	0,0275
Eliminació de polietilè i polipropilè	Incineració	kg	1273,737	212,290	0,0327
Reutilització escorça de pi	Compostatge	kg	6624,000	2208,000	0,340
Transport estructura	tones*km (tkm)	1,2 km	94,213	-	0,0145
Transport elements	tones*km (tkm)	1,2 km	10,94	-	0,00169

Taula 3.13. Resultats de l'inventari per a la fase d'operació.

	Unitats	Quantitat total		Valor relacionat amb la UF
PRODUCTES				
Purí fresc	kg	6490000		1000
Purí sec	kg	379000		58,398
Àcid	kg	25960000		4000
Producció d'àcid	kg	25960000		4000
CONSUMS ENERGÈTICS				
Bomba d'alim.	kWh	912,5		0,141
Bomba d'àcid	kWh	43,8		0,00675
1 extractor	kWh	9636		1,485
4 ventiladors	kWh	2160,8		0,333
Màquina de volteig	kWh	3212		0,495
Automatisme i control	kWh	1095		0,169
TRANSPORT				
Transport purí sec	tones*km (tkm)	0,1 km	37,9	0,00584
Transport purí fresc	tones*km (tkm)	0,1 km	649	0,1
Transport àcid	tones*km (tkm)	150 km	3894000	600

3.4.4 Resultats de la incertesa de les dades

A continuació es mostren els resultats de l'anàlisi d'incertesa de totes les dades utilitzades en aquest estudi d'ACV (Taula 3.14-3.17).

- FASE DE CONSTRUCCIÓ

Taula 3.14. Resultats de l'anàlisi d'incertesa de la fase de construcció.

	Distribució	SD	U _b	Fiabilitat	Representat ivitat	Correlació temporal	Correlació geogràfica	Correlació tecnològica
SÒL								
Ús del sòl	Lognormal	1,5	1,5	3	2	1	3	2
Làmina polietilè baixa densitat	Lognormal	3	3	3	3	1	3	2
Excavar	Lognormal	2,1	2	4	5	1	3	2
HIVERNACLE								
Fusta	Lognormal	3	3	2	3	2	3	2
Acer	Lognormal	3	3	2	3	2	3	2
Formigó	Lognormal	3	3	2	3	2	3	2
Polietilè de baixa densitat	Lognormal	3	3	2	3	2	3	2
Polietilè d'alta densitat	Lognormal	3	3	2	3	2	3	2
Polipropi lè	Lognormal	3	3	2	3	2	3	2
Formigó mur	Lognormal	3	3	2	3	2	3	2
DIPÒSIT D'ÀCID								
Acer de carboni	Lognormal	3,1	3	3	3	1	3	3
Cal	Lognormal	3,1	3	3	3	1	3	3
Bomba d'àcid	Lognormal	3,1	3	3	3	1	3	3
Injector àcid	Lognormal	3,1	3	3	3	1	3	3
BIOFILTRE								
Escorça de pi	Lognormal	3,1	3	3	3	1	3	3
Formigó	Lognormal	3,1	3	3	3	1	3	3
BRAÇ MANIPULADOR								
Acer	Lognormal	3,3	3	4	4	2	3	4
AIREACIÓ								
Ventilad ors	Lognormal	3,5	3	4	3	5	3	4
Extractor	Lognormal	3,5	3	4	3	5	3	4
CÀRREGA HIVERNACLE								
Bomba d'aliment ació	Lognormal	3,1	3	3	3	1	3	3
TRANSPORT MATERIAL								
Camió	Lognormal	2,1	2	4	5	1	3	2

Taula 3.15. Resultats de l'anàlisi d'incertesa dels processos de fabricació.

	Distribució	SD	U _b	Fiabilitat	Representativitat	Correlació temporal	Correlació geogràfica	Correlació tecnològica
Fabricació fusta	Lognormal	3	3	3	2	2	2	2
Fabricació acer	Lognormal	3	3	3	2	2	2	2
Polietilè de baixa densitat	Lognormal	3	3	3	2	2	2	2
Polietilè d'alta densitat	Lognormal	3	3	3	2	2	2	2
Fabricació canal Polipropilè	Lognormal	3	3	3	2	2	2	2
Fabricació tubs ventilació	Lognormal	3	3	3	2	2	2	2
Fabricació ventiladors	Lognormal	3	3	3	2	2	2	2
Fabricació extractors	Lognormal	3	3	3	2	2	2	2
Fabricació injectors àcid	Lognormal	3	3	3	2	2	2	2
Fabricació màquina volteig	Lognormal	3,3	3	4	4	2	3	4
Fabricació acer de carboni	Lognormal	3,1	3	3	3	1	3	3
Fabricació bomba àcid	Lognormal	3,1	3	3	3	1	3	3
Fabricació bomba al.	Lognormal	3,1	3	3	3	1	3	3
Fabricació làmina	Lognormal	3,1	3	3	3	1	3	3

Taula 3.16. Resultats de l'anàlisi d'incertesa dels processos d'eliminació dels residus.

	Distribució	SD	U _b	Fiabilitat	Representativitat	Correlació temporal	Correlació geogràfica	Correlació tecnològica
Eliminació estructura (fusta, formigó, acer i plàstic)	Lognormal	3	3	2	2	2	2	2
Eliminació elements (Dipòsit àcid, biofiltre, volteig, aireació)	Lognormal	3	3	2	2	2	2	2
Eliminació formigó	Lognormal	3	3	2	2	2	2	2
Eliminació fusta	Lognormal	3	3	2	2	2	2	2

Taula 3.16 (cont.). Resultats de l'anàlisi d'incertesa dels processos d'eliminació dels residus.

	Distribució	SD	U _b	Fiabilitat	Representativitat	Correlació temporal	Correlació geogràfica	Correlació tecnològica
Eliminació acer	Lognormal	3	3	2	2	2	2	2
Eliminació de polietilè i polipropilè	Lognormal	3	3	2	2	2	2	2
Reutilització escorça de pi	Lognormal	3,1	3	3	2	1	1	3
Transport	Lognormal	2,1	2	4	5	1	3	2

- FASE D'OPERACIÓ

Taula 3.17. Resultats de l'anàlisi d'incertesa de la fase d'operació.

	Distribució	SD	U _b	Fiabilitat	Representativitat	Correlació temporal	Correlació geogràfica	Correlació tecnològica
PRODUCTES								
Purí fresc	Lognormal	1	1,05	2	3	1	1	2
Purí sec	Lognormal	1	1,05	2	3	1	1	2
Àcid	Lognormal	1	1,05	2	3	1	1	2
Fabricació d'àcid	Lognormal	3	3	3	2	2	2	2
CONSUMS ENERGÈTICS								
Bomba d'alim.	Lognormal	1,2	1,05	2	4	1	3	3
Bomba d'àcid	Lognormal	1,2	1,05	2	4	1	3	3
1 extractor	Lognormal	1,2	1,05	2	4	1	3	3
4 ventiladors	Lognormal	1,2	1,05	2	4	1	3	3
Màquina de volteig	Lognormal	1,2	1,05	2	4	1	3	3
Automatisme i control	Lognormal	1,2	1,05	2	4	1	3	3
TRANSPORT								
Transport purí sec	Lognormal	2,1	2	4	5	1	3	2
Transport purí fresc	Lognormal	2,1	2	4	5	1	3	2
Transport àcid	Lognormal	2,1	2	4	5	1	3	2

Un cop calculada la incertesa total de totes les dades s'introdueixen al programari per determinar la qualitat d'aquestes. En treballs comparatius es fa servir obligatòriament utilitzant mètodes com ara el Montecarlo⁸.

⁸ Mètode numèric que permet resoldre problemes físics i matemàtics mitjançant la simulació de variables aleatòries.

4. RESULTATS: AVALUACIÓ DE L'IMPACTE AMBIENTAL (AICV)

Totes les dades de l'inventari són introduïdes al SimaPro 8.4 per realitzar l'avaluació de l'impacte ambiental. El mètode utilitzat és el mètode ILCD 2011 (European Commission, 2012) i les categories d'impacte seleccionades en aquest estudi segons els valors de normalització, són les següents: el canvi climàtic, la disminució de l'ozó estratosfèric, les partícules en suspensió, l'eutrofització, l'acidificació, l'exhauriment de recursos, la radiació ionitzant i formació d'ozó fotoquímic.

4.1 Contribució de les dues fases als diferents impactes ambientals considerats

Un cop obtinguts tots els resultats, s'agrupen els processos i/o materials de les mateixes característiques amb els processos de fabricació d'aquests materials en un mateix grup, per tal d'agilitzar l'avaluació i la interpretació dels resultats.

A continuació es mostren els resultats obtinguts per a cada categoria d'impacte en diferents taules (Taula 4.1-4.3). A més s'adjunten les seves gràfiques per a les dues fases tant en percentatges com en quantitats (Figura 4.1-4.40).

Taula 4.1. Resultats de l'avaluació d'impactes per a la fase de construcció.

	Canvi climàtic (kg CO ₂ eq.)	Disminució d'ozó estratosfèric (kg CFC-11 eq.)	Partícules en suspensió (kg PM _{2,5} eq.)	Acidificació (mol H ⁺ eq.)	Eutrofització marina (kg N eq.)	Eutrofització aigua dolça (kg P eq.)	Eutrofització terrestre (mol N eq.)	Exhauriment de recursos (kg Sb eq.)	Formació d'ozó fotoquímic (kg NMVOC eq.)	Radiació ionitzant (kBq U235 eq.)
Excavació sòl	2,527E-02	5,080E-11	4,587E-06	9,304E-05	3,856E-05	8,003E-08	4,213E-04	5,201E-09	1,138E-04	6,182E-05
Fusta + fabricació	-4,680E-02	3,519E-10	1,451E-05	2,014E-05	6,607E-06	7,706E-07	7,256E-05	3,080E-07	2,630E-05	6,906E-04
Acer (bombes, màquina volteig i hivernacle) + fabricació	3,130E-02	1,729E-09	3,569E-05	1,923E-04	3,269E-05	2,297E-05	3,278E-04	2,082E-06	1,066E-04	2,183E-03
Formigons	4,989E-02	1,765E-09	8,869E-06	1,250E-04	3,485E-05	5,821E-06	3,936E-04	1,100E-06	9,990E-05	5,614E-03
Polietilè de baixa densitat (hivernacle + làmina) + fabricació	5,600E-02	6,200E-10	2,603E-05	2,617E-04	4,351E-05	3,014E-06	4,703E-04	3,268E-07	2,456E-04	1,160E-03
Polietilè d'alta densitat	1,819E-02	3,775E-09	7,968E-06	7,679E-05	1,468E-05	1,253E-06	1,399E-04	5,679E-07	1,818E-05	1,961E-02
Polipropilè canal + fabricació	5,323E-03	2,847E-10	2,212E-06	2,384E-05	4,061E-06	1,302E-06	4,151E-05	6,317E-08	1,818E-05	6,547E-04
Acer de carboni + fabricació	8,498E-02	9,548E-10	4,225E-05	3,101E-04	5,408E-05	6,052E-06	5,071E-04	6,823E-07	2,313E-04	3,068E-04
Calç	2,832E-02	1,504E-09	2,222E-06	3,175E-05	6,048E-06	3,366E-07	6,740E-05	6,709E-08	2,068E-05	1,199E-03
Polipropilè (Injector àcid)	1,796E-04	3,410E-12	7,717E-08	7,675E-07	1,376E-07	2,368E-08	1,451E-06	1,706E-09	6,659E-07	9,733E-06
Escorça de pi	-1,126E-01	6,057E-10	2,081E-06	2,101E-05	7,686E-06	3,198E-07	8,103E-05	1,508E-07	3,778E-05	2,667E-04
Acer (ventiladors + extractor) + fabricació	4,668E-02	1,153E-09	2,372E-05	1,895E-04	-5,074E-05	1,094E-05	3,520E-04	1,448E-06	1,093E-04	1,762E-03
Fabricació tubs ventilació	4,932E-02	3,730E-09	8,197E-05	1,654E-03	9,560E-05	3,782E-05	6,307E-03	6,247E-04	1,994E-04	3,002E-03
Transport material	0,0196	3,686E-09	9,256E-06	8,106E-05	2,352E-05	1,423E-06	0,000257	1,508E-06	7,749E-05	0,00169
Total material + fabricació	2,557E-01	2,022E-08	2,614E-04	3,081E-03	3,113E-04	9,213E-05	9,440E-03	6,330E-04	1,305E-03	3,821E-02
Total eliminació	1,295E-01	3,005E-09	5,367E-05	1,087E-04	3,770E-05	8,133E-07	4,447E-04	4,804E-07	1,154E-04	1,449E-03
TOTAL	3,851E-01	2,322E-08	3,151E-04	3,189E-03	3,490E-04	9,294E-05	9,885E-03	6,334E-04	1,421E-03	3,966E-02

Taula 4.2. Resultats de l'avaluació d'impactes per als processos d'eliminació dels residus.

	Canvi climàtic (kg CO ₂ eq.)	Disminució d'ozó estratosfèric (kg CFC-11 eq.)	Partícules en suspensió (kg PM _{2,5} eq.)	Acidificació (mol H ⁺ eq.)	Eutrofització marina (kg N eq.)	Eutrofització aigua dolça (kg P eq.)	Eutrofització terrestre (mol N eq.)	Exhauriment de recursos (kg Sb eq.)	Formació d'ozó fotoquímic (kg NMVOC eq.)	Radiació ionitzant (kBq U235 eq.)
Eliminació formigó	9,064E-03	2,397E-09	5,199E-05	8,140E-05	3,151E-05	6,171E-07	3,450E-04	2,791E-07	9,625E-05	1,087E-03
Incineració fusta	1,228E-02	2,057E-11	6,605E-08	2,459E-06	6,496E-07	8,255E-10	9,647E-06	-2,159E-09	1,773E-06	2,488E-05
Eliminació acer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incineració plàstics	1,055E-01	9,070E-11	3,751E-07	1,390E-05	2,379E-06	3,714E-09	5,556E-05	3,141E-10	6,951E-06	1,099E-04
Transport estructura	2,366E-03	4,448E-10	1,117E-06	9,784E-06	2,839E-06	1,717E-07	3,096E-05	1,820E-07	9,352E-06	2,037E-04
Transport elements	2,754E-04	5,177E-11	1,300E-07	1,139E-06	3,304E-07	1,998E-08	3,604E-06	2,118E-08	1,088E-06	2,371E-05
TOTAL eliminació	1,295E-01	3,005E-09	5,367E-05	1,087E-04	3,770E-05	8,133E-07	4,447E-04	4,804E-07	1,154E-04	1,449E-03

Taula 4.3. Resultats de l'avaluació d'impactes per a la fase d'operació.

	Canvi climàtic (kg CO ₂ eq.)	Disminució d'ozó estratosfèric (kg CFC-11 eq.)	Partícules en suspensió (kg PM _{2,5} eq.)	Acidificació (mol H ⁺ eq.)	Eutrofització marina (kg N eq.)	Eutrofització aigua dolça (kg P eq.)	Eutrofització terrestre (mol N eq.)	Exhauriment de recursos (kg Sb eq.)	Formació d'ozó fotoquímic (kg NMVOC eq.)	Radiació ionitzant (kBq U235 eq.)
Àcid + fabricació	3,288E-05	1,658E-11	1,291E-07	2,257E-06	1,015E-07	3,618E-08	1,100E-06	1,217E-07	4,198E-07	7,595E-06
Consum energètic total	3,908E-08	5,063E-15	2,134E-11	3,122E-10	4,273E-11	1,092E-11	4,414E-10	3,203E-13	1,228E-10	1,678E-08
Transport total (purí sec + purí fresc + àcid)	1,647E-06	3,288E-13	9,076E-10	6,900E-09	2,058E-09	1,022E-10	2,247E-08	8,024E-11	7,208E-09	1,669E-07
Planta de tractament	1,857E-08	1,931E-15	1,299E-11	1,274E-10	1,869E-11	3,408E-12	3,966E-10	2,058E-11	7,176E-11	1,805E-09
TOTAL	3,459E-05	1,691E-11	1,300E-07	2,265E-06	1,036E-07	3,630E-08	1,123E-06	1,218E-07	4,272E-07	7,780E-06

4.2 Canvi climàtic

És l'escalfament de l'atmosfera terrestre provocat per l'augment del diòxid de carboni (CO₂) i d'altres gasos a l'atmosfera, com ara el metà (CH₄), el vapor d'aigua i l'òxid nitrós (N₂O). Aquests gasos, provinents principalment del consum de combustibles fòssils, formen una capa que reté la radiació tèrmica. Aquesta retenció de calor pot provocar un ascens de la temperatura mitjana de la Terra, unes alteracions del nivell del mar i una modificació del clima i de les estacions arreu del món. El canvi climàtic és un impacte a escala global del planeta.

Per la seva caracterització es calcula el potencial d'escalfament global de les diferents substàncies en funció de la seva capacitat d'absorbir i d'irradiar la calor de la Terra en relació amb la del diòxid de carboni (kg CO₂ eq.).

Interpretació de resultats

Pel que fa a la fase de construcció, el procés que més destaca és la incineració de plàstics amb un 27,39% de les emissions totals, seguit de l'acer de carboni i el seu procés de fabricació (22,06%), del polietilè de baixa densitat i el seu procés de fabricació (14,54%) i del formigó (12,95%). Tenint en compte aquests processos i/o materials, la suma d'emissions és de 0,278 kg CO₂ equivalents dels 0,385 kg CO₂ eq. totals generats.

També trobem resultats amb valors negatius com el cas de la fusta i l'escorça de pi. Això és degut a que, al tractar-se d'espècies vegetals, el programa no les comptabilitza com a emissions de CO₂ fòssil sinó com a CO₂ biogènic que no retorna a l'atmosfera. Tot i això aquest resultat negatiu no contaminant podria variar si realitzéssim un altre procés que el fes retornar a l'atmosfera, com succeiria en el cas de realitzar el compostatge d'aquests materials vegetals.

A la fase d'operació veiem unes emissions totals de 3,45 E⁻⁵ kg de CO₂ eq. on un 95,07% de les emissions són causades per l'àcid i la seva fabricació. En canvi, només un 4,76% és degut al transport. Tot i el percentatge tant elevat d'àcid i la seva fabricació hem de tenir en compte que són valors molt petits en comparació amb els resultats obtinguts a la fase de construcció.

Canvi climàtic

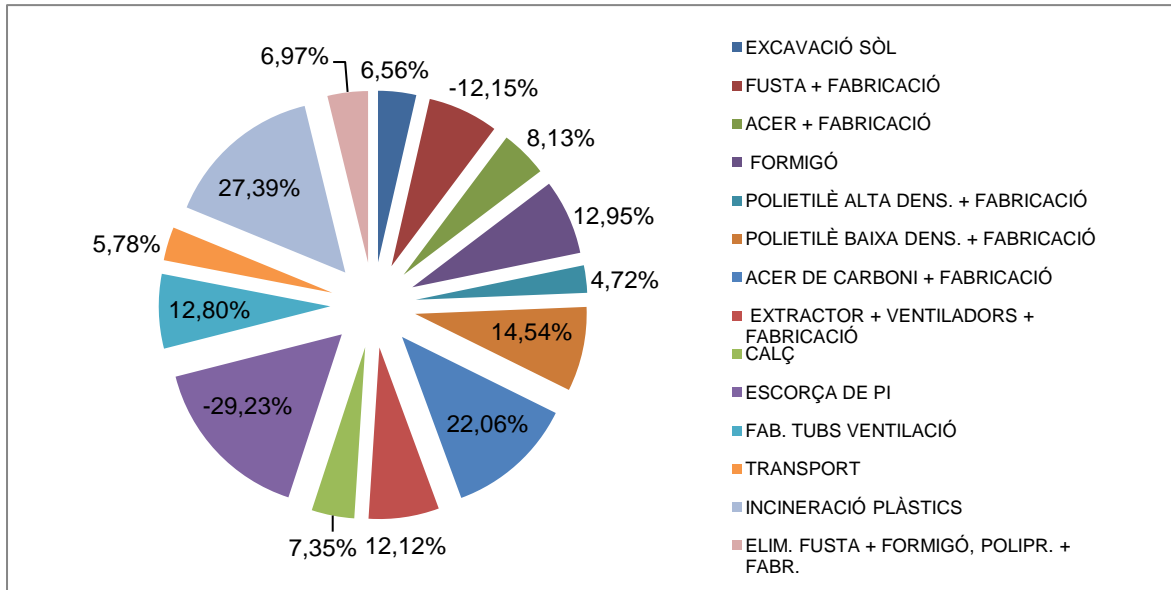


Figura 4.1. Resultats del canvi climàtic en % considerant la fase de construcció.

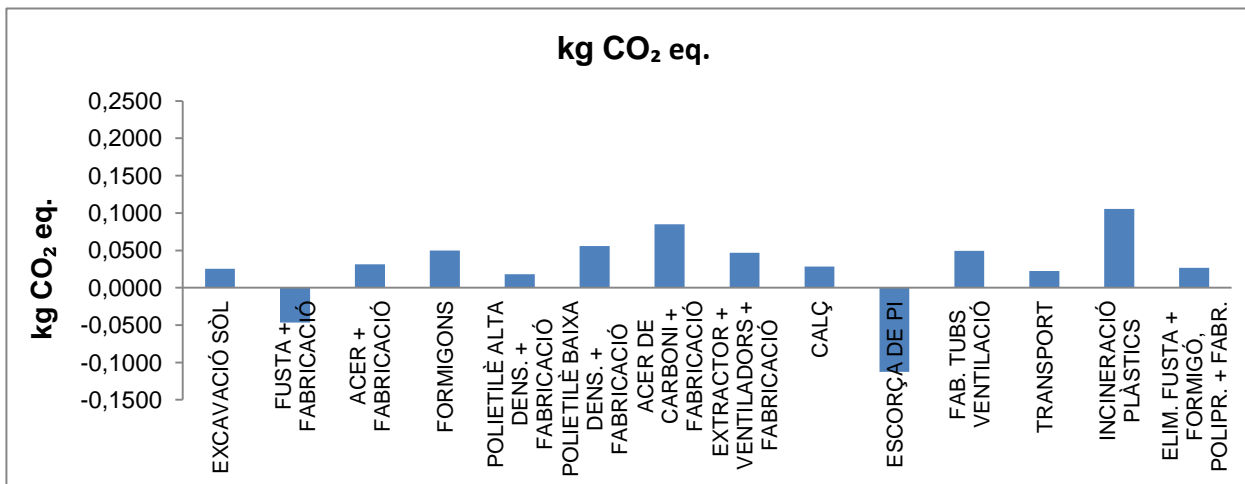


Figura 4.3. Resultats del canvi climàtic en kg considerant la fase de construcció.

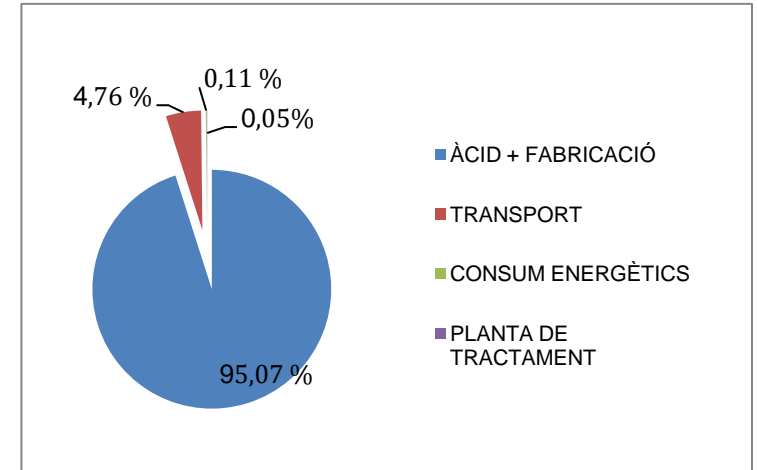


Figura 4.2. Resultats del canvi climàtic en % considerant la fase d'operació.

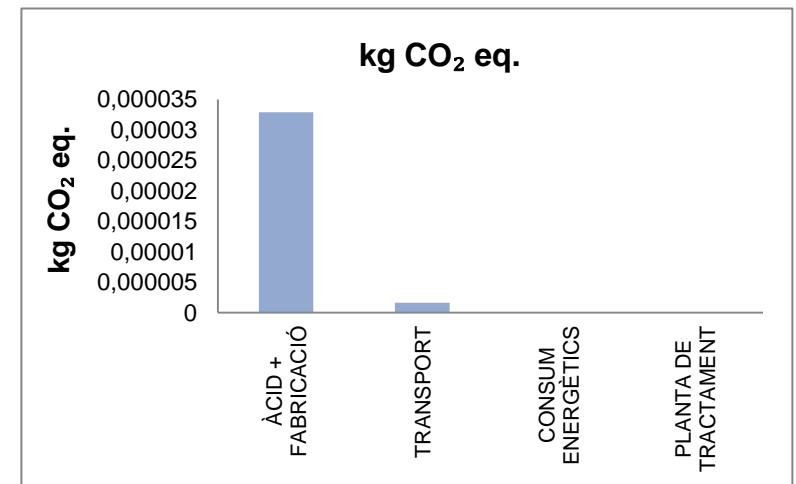


Figura 4.4. Resultats canvi climàtic en kg considerant la fase d'operació.

4.3 Disminució de l'ozó estratosfèric

L'estratosfera conté ozó (O₃), forma molecular de l'oxigen que absorbeix la major part de les radiacions ultraviolades. Determinats productes químics que contenen àtoms de clor o de brom, perjudiquen a la capa d'ozó de forma que ens priven de la protecció dels raigs ultraviolats. La disminució de l'ozó estratosfèric també és un impacte a escala global, tot i que el seu efecte és més visible i potent en certes àrees geogràfiques. Per caracteritzar els impactes en l'ACV es calcula el potencial d'esgotament d'ozó amb la capacitat de destrucció de les molècules d'ozó de cada substància, en relació amb el CFC-11 (CFCl₃) (principal compost responsable de la destrucció de l'ozó estratosfèric). La capacitat de destrucció de l'ozó depèn de la quantitat d'àtoms de clor i/o brom en la molècula i el temps que triga a degradar-se a l'atmosfera.

Interpretació de resultats

Pel que fa a la fase de construcció, el procés que més destaca és el transport de materials amb un 18,01% de les emissions totals, seguit del polietilè d'alta densitat i el seu procés de fabricació (16,26%) i del procés d'eliminació de formigó (10,33%). Tenint en compte aquests processos i/o materials l'emissió és de $1,41 \times 10^{-8}$ kg CFC-11 eq. dels $2,322 \times 10^{-8}$ kg eq. totals generats.

A la fase d'operació, succeeix el mateix que amb el canvi climàtic, on un 98,01% de les emissions totals són causades per l'àcid i la seva fabricació i el transport un 1,94%. Aquests dos processos representen un 99,95% de les emissions totals i generen $1,691 \times 10^{-11}$ kg CFC-11 eq., pràcticament la totalitat d'emissions.

Disminució de l'ozó estratosfèric

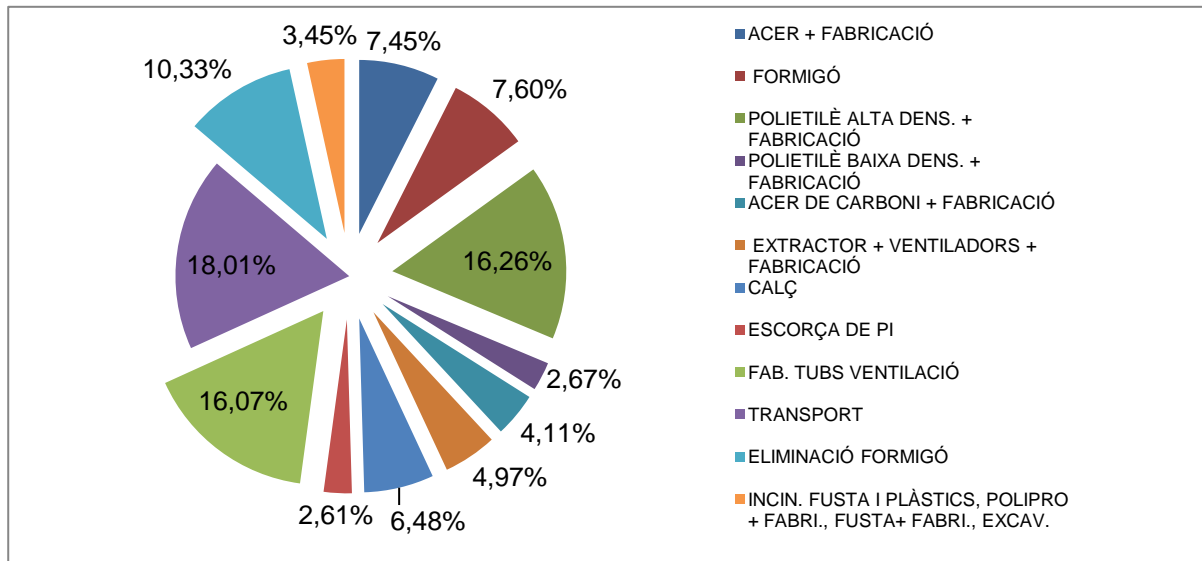


Figura 4.5. Resultats de la disminució de l'ozó estratosfèric en % considerant la fase de construcció.

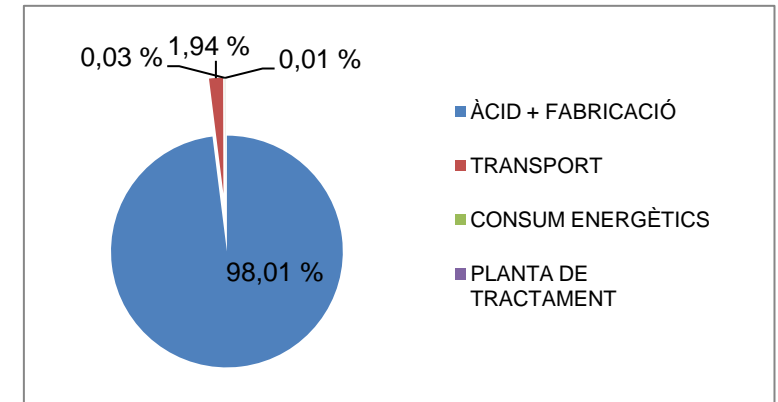


Figura 4.6. Resultats de la disminució de l'ozó estratosfèric en % considerant la fase d'operació.

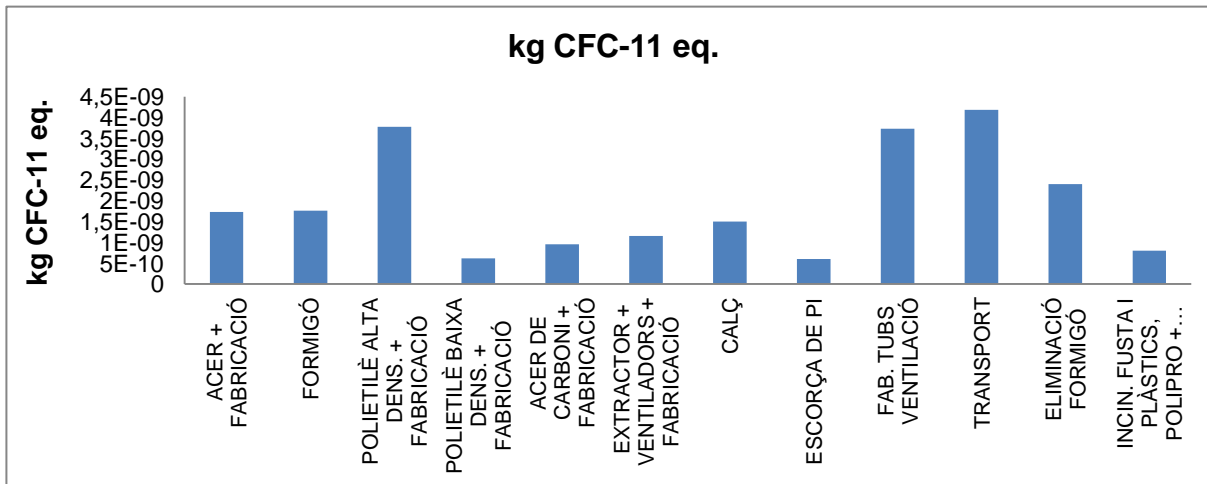


Figura 4.7. Resultats de la disminució de l'ozó estratosfèric en kg considerant la fase de construcció.

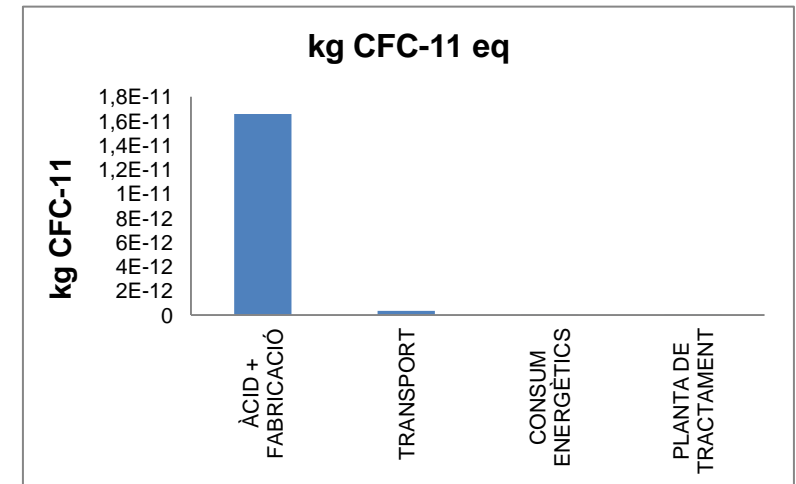


Figura 4.8. Resultats de la disminució de l'ozó estratosfèric en kg considerant la fase d'operació.

4.4 Partícules en suspensió

L'aire que respirem conté partícules en suspensió que són generades principalment pel consum de combustibles fòssils. La seva composició pot ser molt variada i és per això, que es classifiquen segons la seva mida i segons com afecten a l'ésser humà al ser respirades. Trobem les partícules amb un diàmetre igual o inferior a 10 μm (PM_{10}) o les d'un diàmetre igual o inferior a 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$).

Per la seva caracterització es quantifica l'impacte de mort o de discapacitat que causen les partícules en suspensió a la població, comprant-les amb el $\text{PM}_{2,5}$. S'inclou la avaluació primària del material particulat (PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$) i secundària (creació de material particulat degut a les emissions de SO_x , NO_x , NH_3 i CO).

Interpretació de resultats

Tenint en compte la fase de construcció, el procés que causa més emissió és la fabricació de tubs de ventilació amb un 26,01%, seguit del procés d'eliminació de formigó (16,50%), de l'acer de carboni i el seu procés de fabricació (13,41%), de l'acer i el seu procés de fabricació (11,33%) i del polietilè de baixa densitat i el seu procés de fabricació (8,26%). Tots aquests processos sumen un 75,5% de les emissions totals, és a dir, aporten 0,00024 kg $\text{PM}_{2,5}$ eq. dels 0,000315 kg $\text{PM}_{2,5}$ eq. totals.

A la fase d'operació, l'àcid i el seu procés de fabricació representen un altre vegada un percentatge gairebé total, amb un 99,28% de les emissions, representant $1,291 \times 10^{-8}$ kg $\text{PM}_{2,5}$ eq. dels $1,3 \times 10^{-8}$ kg $\text{PM}_{2,5}$ eq. totals.

Partícules en suspensió

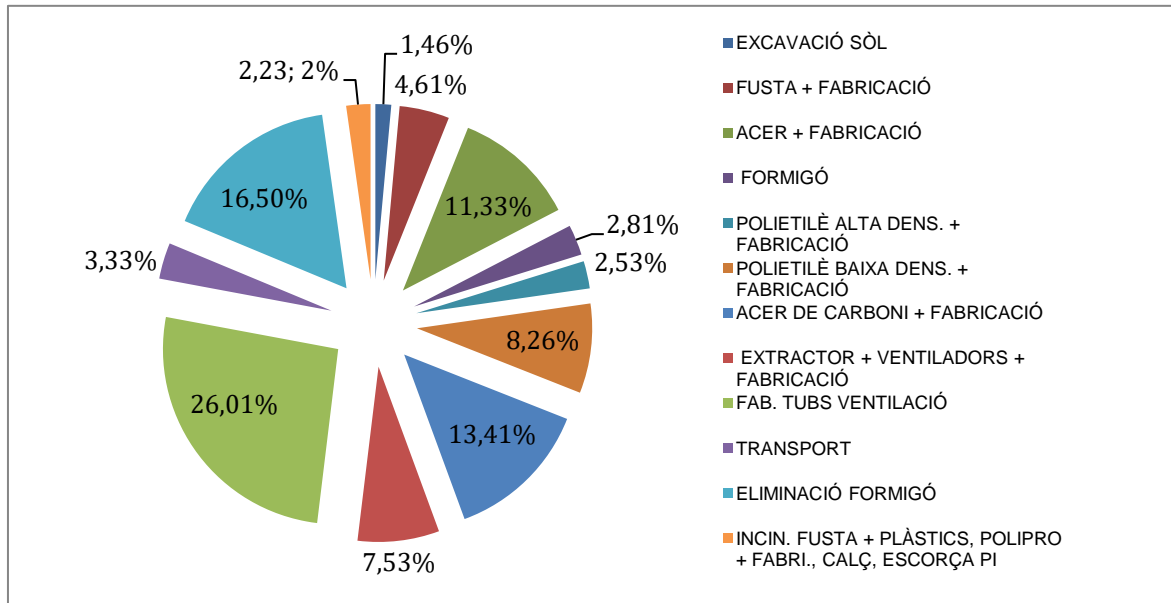


Figura 4.9. Resultats de les partícules en suspensió en % considerant la fase de construcció.

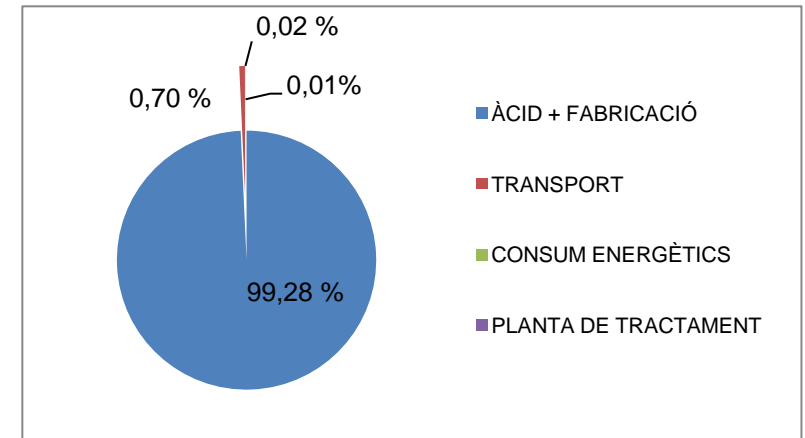


Figura 4.10. Resultats de les partícules en suspensió en % considerant la fase d'operació.

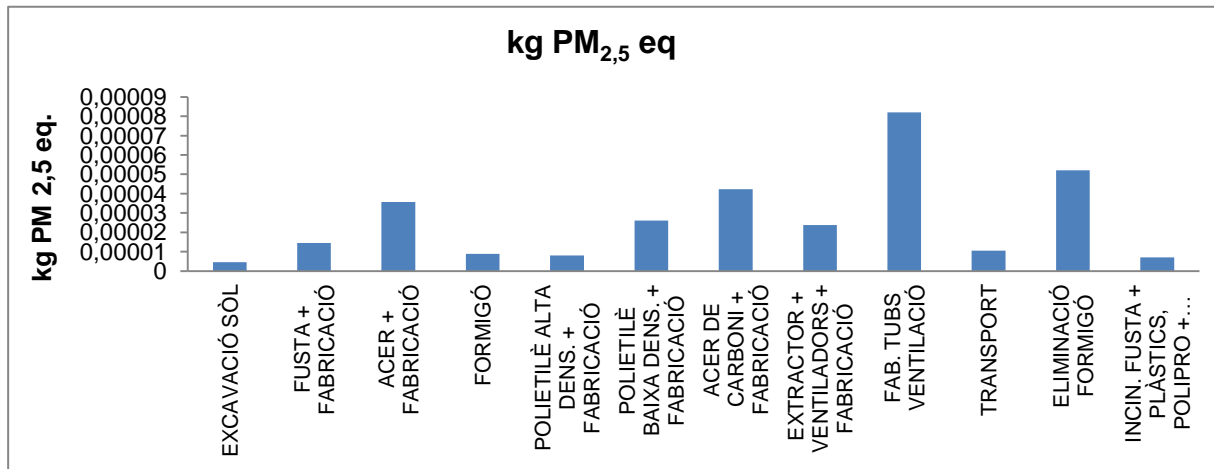


Figura 4.11. Resultats de les partícules en suspensió en kg considerant la fase de construcció.

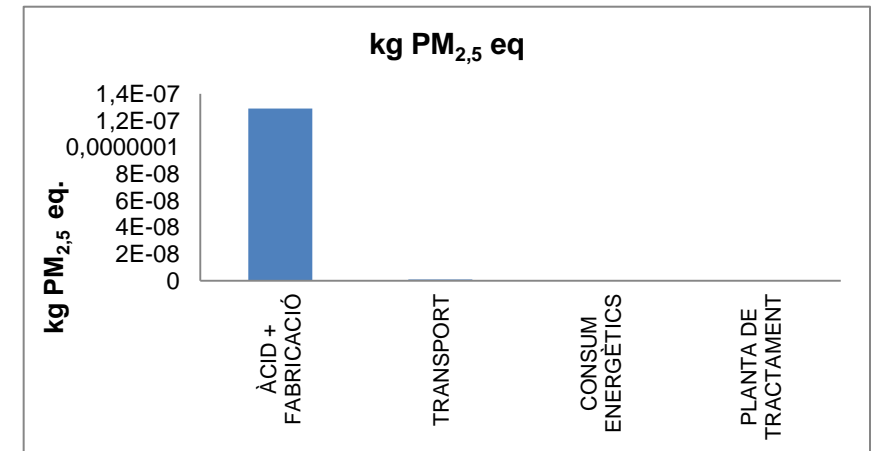


Figura 4.12. Resultats de les partícules en suspensió en kg considerant la fase d'operació.

4.5 Eutrofització

Aquest procés és causat per l'aportació excessiva de nutrients principalment de nitrogen i fòsfor als ecosistemes aquàtics. Aquests provenen majoritàriament tant d'aigües residuals industrials com domèstiques. Sembla lògic pensar que enriquir de nutrients un ecosistema aquàtic el pot afavorir, però no és així. Es tracta d'una aportació excessiva de nutrients amb un ritme que no pot ser compensat per els mètodes d'eliminació natural i que provoca una disminució dràstica de la qualitat de l'aigua. L'eutrofització és un impacte d'àmbit regional que pot afectar tant a ecosistemes aquàtics com terrestres. És per aquest motiu que subdividim l'eutrofització en tres: terrestre, marina i d'aigua dolça

4.5.1 Eutrofització terrestre

El potencial d'una substància per generar eutrofització terrestre es calcula a partir de la quantitat de nitrogen (mols N equivalents) que aquesta substància aporta al medi.

Interpretació de resultats

A la fase de construcció la fabricació de tubs de ventilació emet un 63,81% de les emissions totals, seguit d'un 5,13% de l'acer de carboni i el seu procés de fabricació. Aquests processos representen l'emissió de 0,00681 mols N eq. dels 0,00988 mols N totals. La resta de processos i/o materials sumen el 31,06% restant.

Pel que fa a la fase d'operació es torna a repetir el mateix que a les categories d'impacte anteriors, un 99,68% d'emissions són causades per l'àcid i la seva fabricació, s'emeten $1,1 \cdot 10^{-6}$ mols N eq. dels $1,123 \cdot 10^{-6}$ mols N eq. totals.

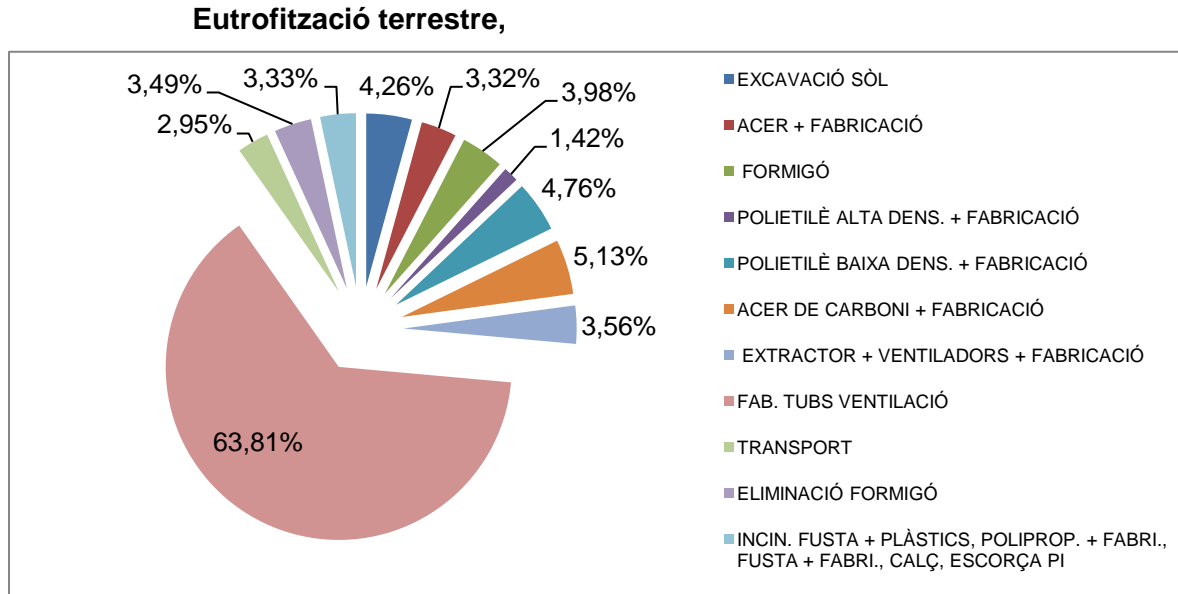


Figura 4.13. Resultats de l'eutrofització terrestre en % considerant la fase de construcció.

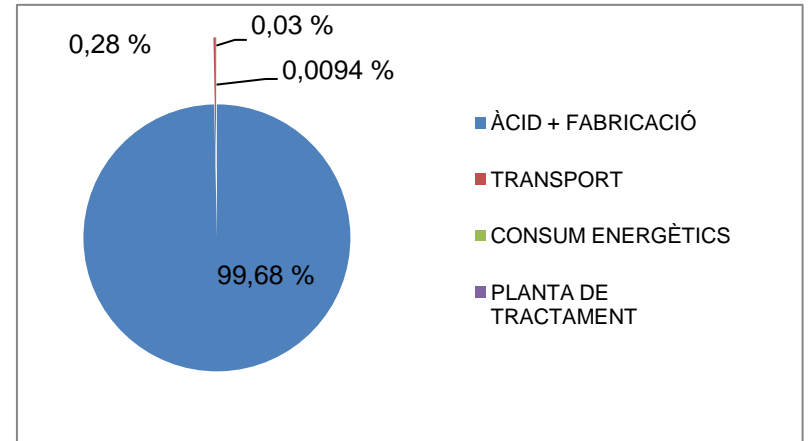


Figura 4.14. Resultats de l'eutrofització terrestre en % considerant la fase d'operació.

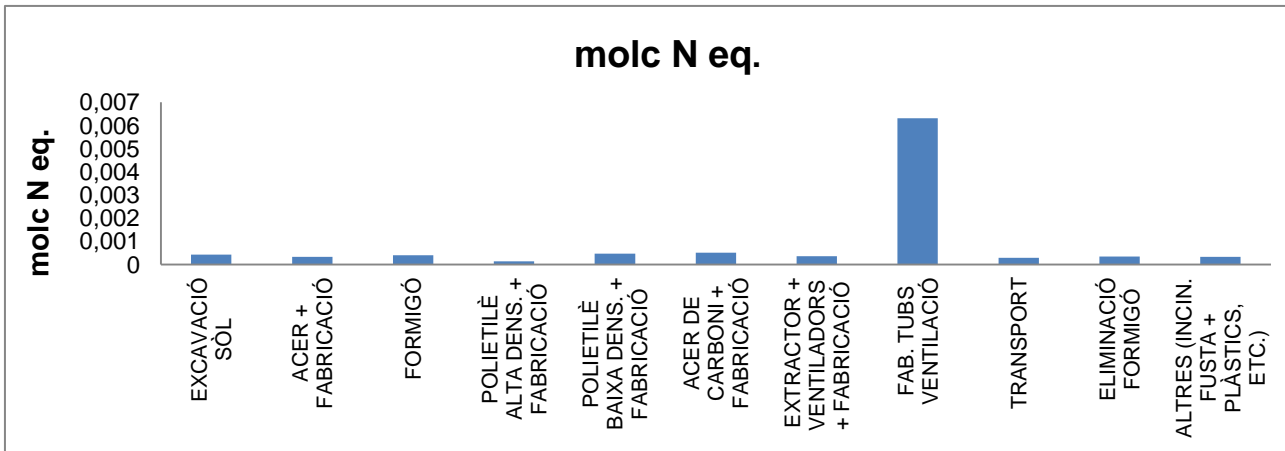


Figura 4.15. Resultats de l'eutrofització terrestre en mol considerant la fase de construcció.

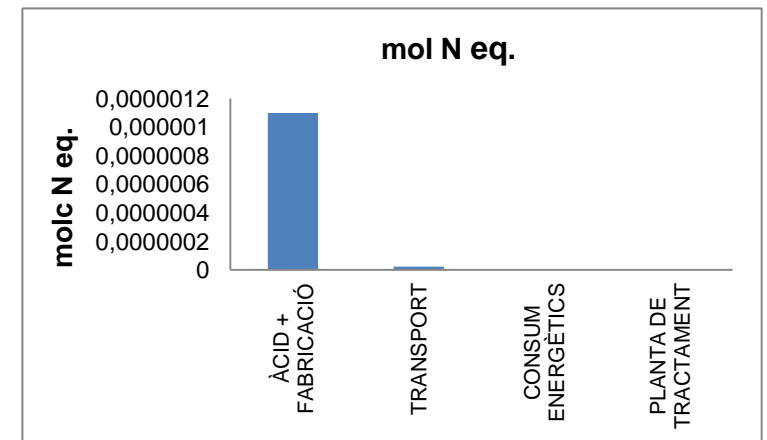


Figura 4.16. Resultats de l'eutrofització terrestre en mol considerant la fase d'operació.

4.5.2 Eutrofització marina

El potencial d'una substància per generar eutrofització marina es calcula a partir de la quantitat de nitrogen (kg N equivalents) que aquesta substància aporta al medi.

Interpretació de resultats

A la fase de construcció el procés que més destaca és la fabricació dels tubs de ventilació amb un 27,39% de les emissions totals. L'acer de carboni i el seu procés de fabricació emet, en aquest cas, un 15,50%. Els tres processos i/o materials que segueixen són polietilè de baixa densitat i el seu procés de fabricació (12,47%), el procés d'excavació del sòl (11,05%) i el formigó (10%) que sumen amb els dos processos anteriors un 76,39% i representen 0,000267 kg N eq. dels 0,000349 kg N totals.

Eutrofització marina

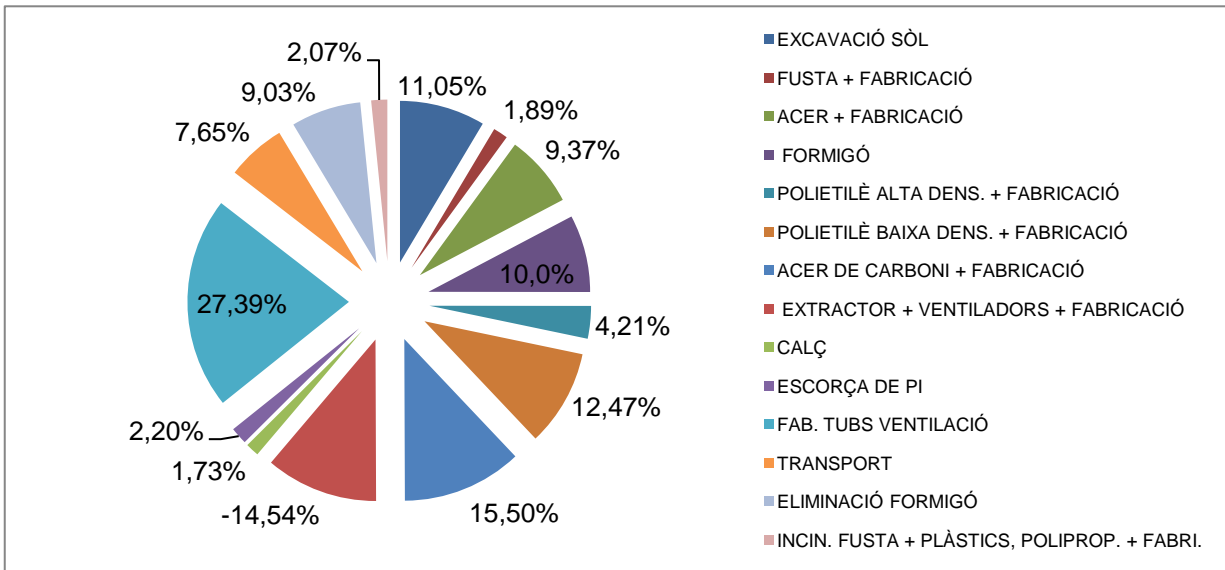


Figura 4.17. Resultats de l'eutrofització marina en % considerant la fase de construcció.

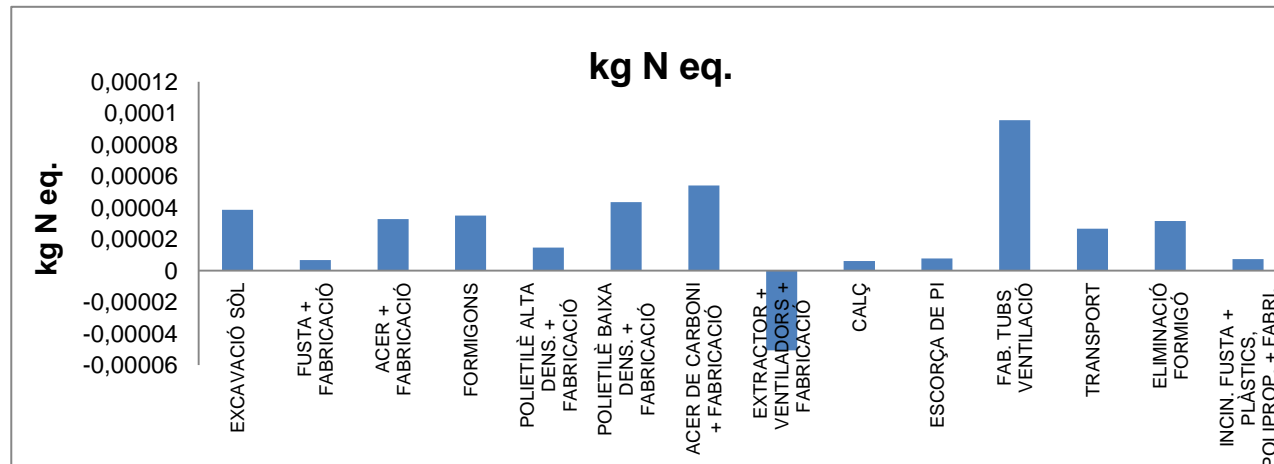


Figura 4.19. Resultats de l'eutrofització marina en kg considerant la fase de construcció.

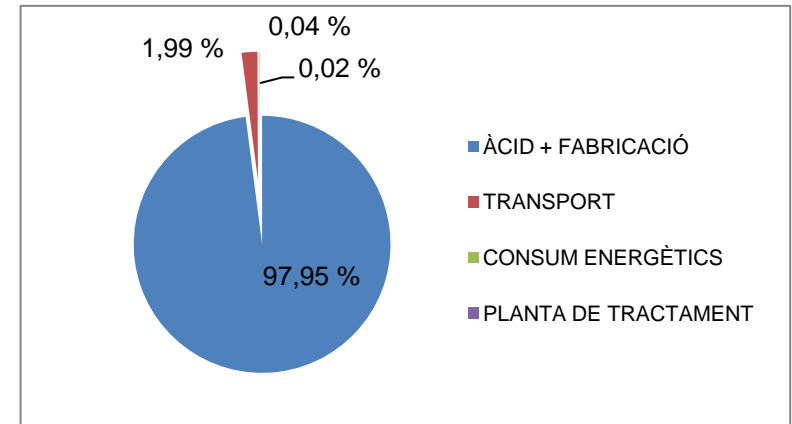


Figura 4.18. Resultats de l'eutrofització marina en % considerant la fase d'operació.

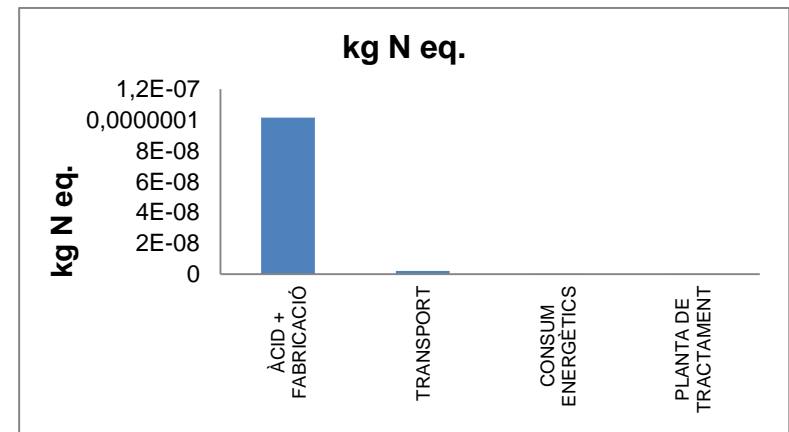


Figura 4.20. Resultats de l'eutrofització marina en kg considerant la fase d'operació

4.5.3 Eutrofització d'aigua dolça

El potencial d'una substància per generar eutrofització a l'aigua dolça es calcula a partir de la quantitat de fòsfor (kg P equivalents) que aquesta substància aporta al medi.

Interpretació de resultats

En aquesta fase de construcció és la fabricació dels tubs de ventilació el procés que més emissions produeix, un 40,70%, seguit de l'acer i el seu procés de fabricació amb un 24,71% de les emissions totals. L'extractor i els ventiladors i els seus processos de fabricació (11,77%), l'acer de carboni i el seu procés de fabricació (6,51%) i el formigó (6,26%) sumen amb els dos processos anteriors un 90% que representen una emissió de $8,361 \text{ E}^{-5}$ kg P eq. dels $9,294 \text{ E}^{-5}$ kg P totals.

A la fase d'operació torna a ser l'àcid i el seu procés de fabricació el causant de quasi bé el 100% de les emissions totals (99,68%) i aporten $3,62 \text{ E}^{-8}$ kg P eq. dels $3,63 \text{ E}^{-8}$ kg P eq. totals. És important recordar que en tots els casos, tot i els percentatges tant elevats, l'emissió a la fase d'operació és molt inferior a la de construcció ja que les quantitats generades tenen un valor molt petit.

Eutrofització d'aigua dolça

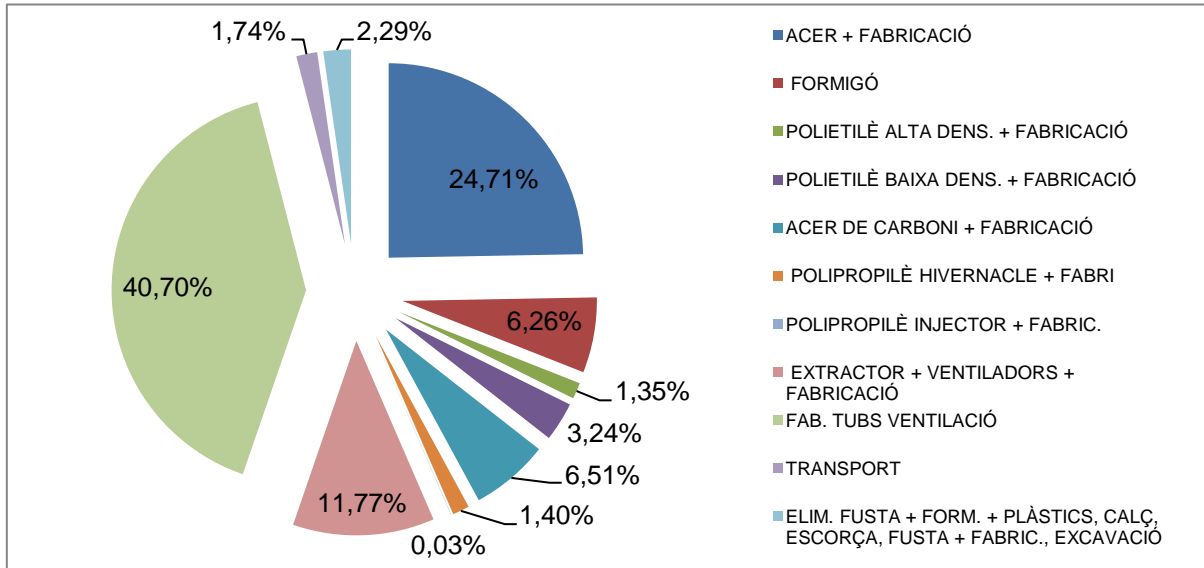


Figura 4.21. Resultats de l'eutrofització d'aigua dolça en % considerant la fase de construcció.

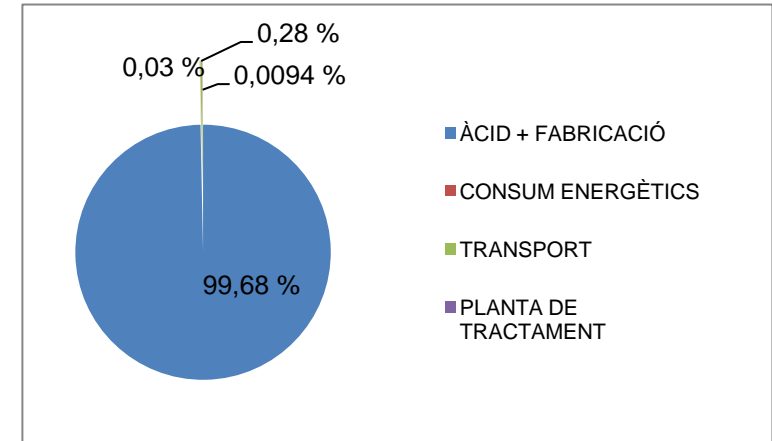


Figura 4.22. Resultats de l'eutrofització d'aigua dolça en % considerant la fase d'operació.

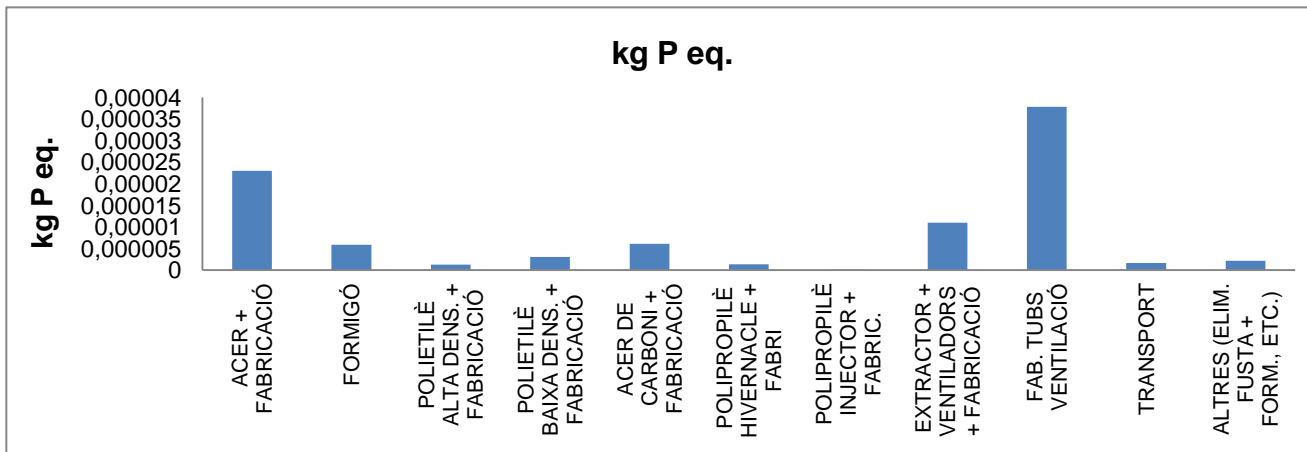


Figura 4.23. Resultats de l'eutrofització d'aigua dolça en kg considerant la fase de construcció.

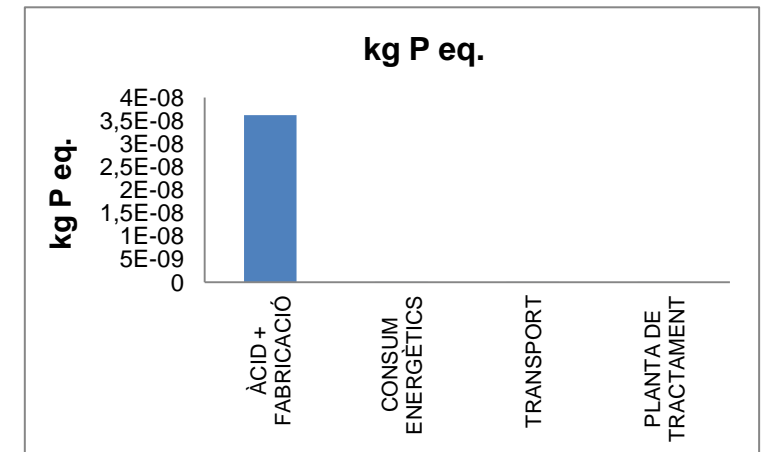


Figura 4.24. Resultats de l'eutrofització d'aigua dolça en kg considerant la fase d'operació.

4.6 Acidificació

La deposició atmosfèrica de substàncies inorgàniques com ara els sulfats, els nitrats i els fosfats, causen un canvi en l'acidesa del sòl. Aquesta modificació pot provocar danys a la salut humana, als boscos i llacs, a la flora i a la fauna. L'acidificació també és un impacte d'àmbit regional.

Per caracteritzar l'efecte de l'acidificació s'estudia la capacitat de cada substància en formar protons (fer el pH més àcid) en el medi receptor. S'expressa en relació a la capacitat del diòxid de sofre (kg SO₂ eq.), ja que és una de les principals causants de l'acidificació dels sòls.

Interpretació de resultats

A la fase que inclou les infraestructures, cal destacar la fabricació dels tubs de ventilació que emet un 51,85%. L'acer de carboni i el seu procés de fabricació (9,72%), el polietilè de baixa densitat i el seu procés de fabricació (8,20%) i l'acer i el seu procés de fabricació (6,03%) representen amb el procés anterior un 75,8% (0,00261 mols H⁺ eq. dels 0,00319 mols H⁺ eq. totals).

A la fase d'operació, l'àcid i el seu procés de fabricació representa el 99,68% de les emissions totals (2,26_E⁻⁶ mols H⁺ eq. dels 2,265_E⁻⁶ mols H⁺ eq. totals).

Acidificació

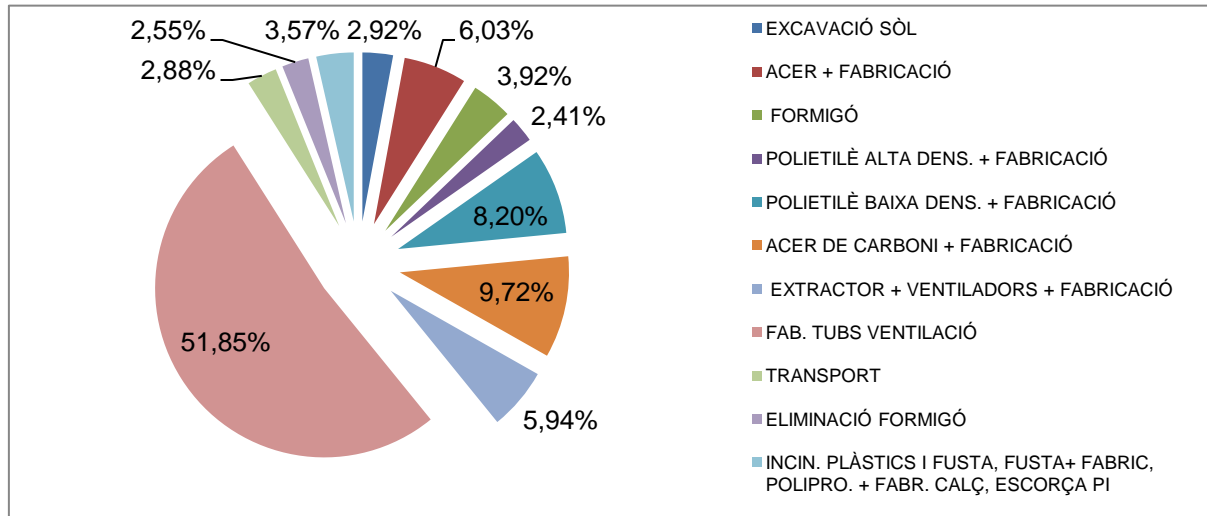


Figura 4.25. Resultats de l'acidificació en % considerant la fase de construcció.

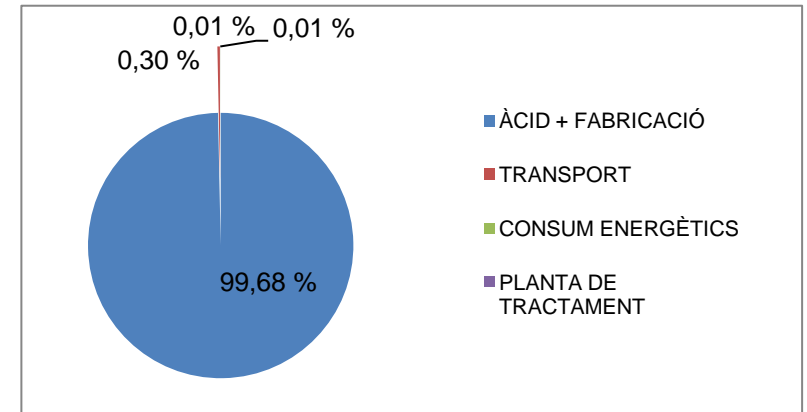


Figura 4.26. Resultats de l'acidificació en % considerant la fase d'operació.

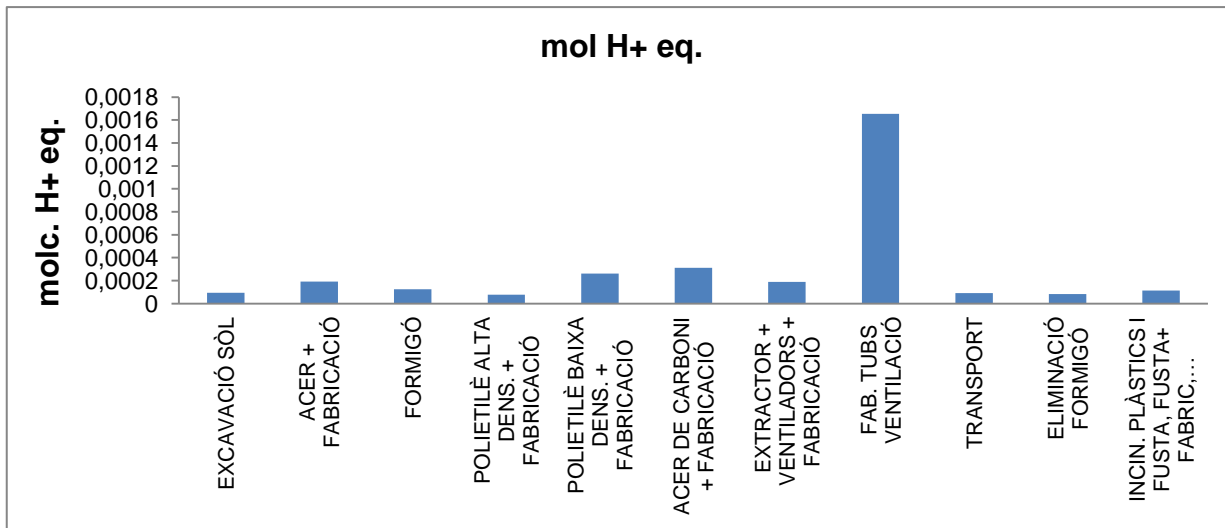


Figura 4.27. Resultats de l'acidificació en mol considerant la fase de construcció.

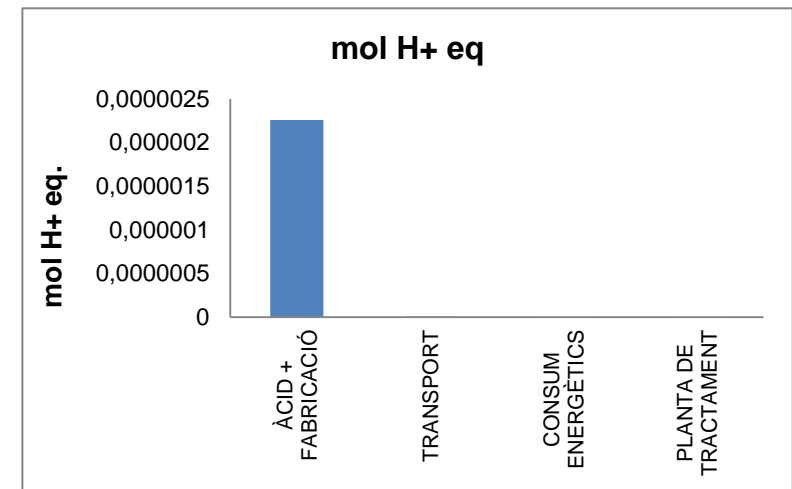


Figura 4.28. Resultats de l'acidificació en mol considerant la fase d'operació.

4.7 Exhauriment de recursos

El consum de recursos naturals és un problema de la societat actual i està augmentant contínuament degut al creixement de la població, a l'augment del consum individual de recursos i a la seva mala gestió.

L'origen bàsic de tots els béns materials són els recursos naturals (energia i matèries primeres). Es troben dos tipus de recursos naturals, el no renovables, que són els produïts per cicles naturals extremadament lents (combustibles fòssils) i els renovables, que són els que es poden regenerar per processos naturals.

L'impacte ambiental d'aquesta categoria es calcula amb una "base de recursos" que fa referència als recursos identificats que compleixen amb els criteris específics físics i químics relacionats amb la pràctica actual de mineria. Aquesta base pot englobar aquells recursos que tinguin un potencial raonable de ser econòmicament disponible dins dels horitzons temporals. Els efectes s'expressen en kg d'Antimoni equivalents (kg Sb eq.).

Interpretació de resultats

A diferència d'altres categories d'impacte, en aquest cas trobem un procés que destaca molt per sobre de la resta, la fabricació dels tubs de ventilació amb un 98,61% de les emissions totals. Aquest procés representa una emissió de 0,000625 kg Sb eq. dels 0,000634 kg Sb eq.

Pel que fa a la fase d'operació, succeeix el mateix que a la resta de categories d'impacte avaluades, on l'àcid i el seu procés de fabricació representen un 99,92% amb una emissió de $1,217 \times 10^{-7}$ kg Sb eq. dels $1,218 \times 10^{-7}$ kg Sb eq. totals.

Exhauriment de recursos

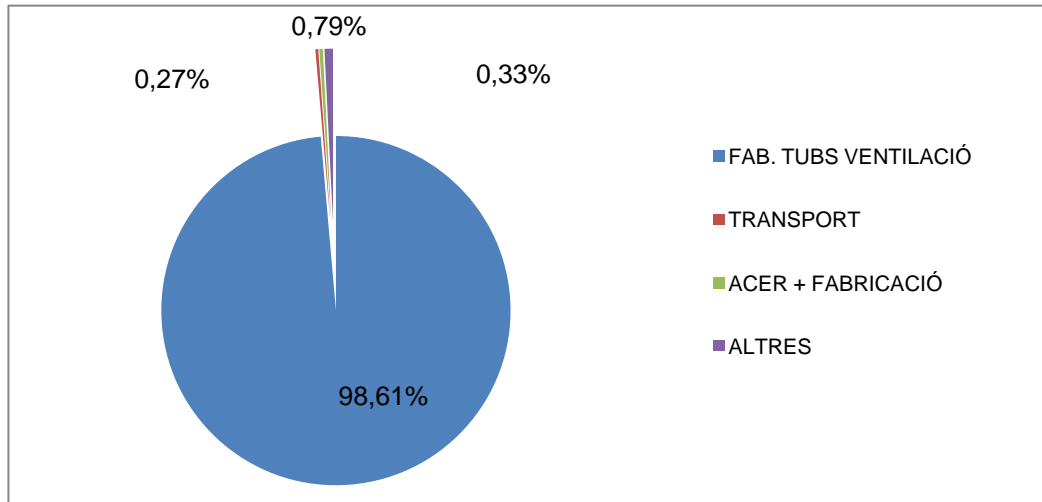


Figura 4.29. Resultats de l'exhauriment de recursos en % considerant la fase de construcció.

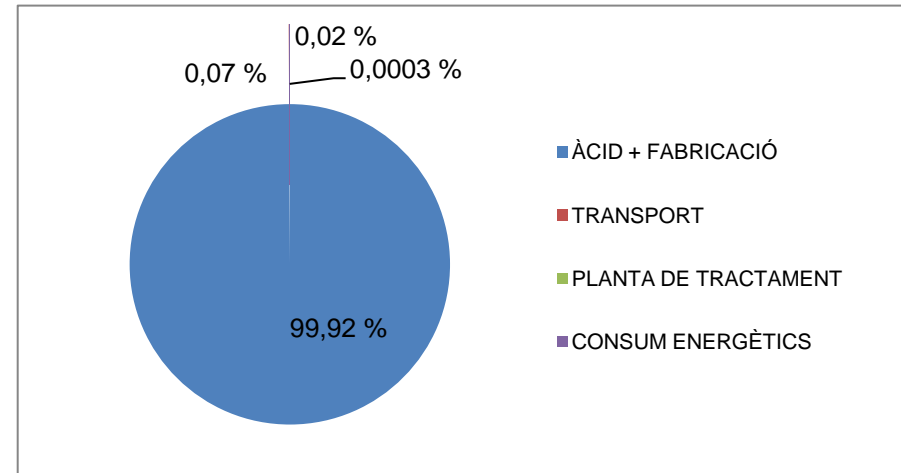


Figura 4.30. Resultats de l'exhauriment de recursos en % considerant la fase d'operació.

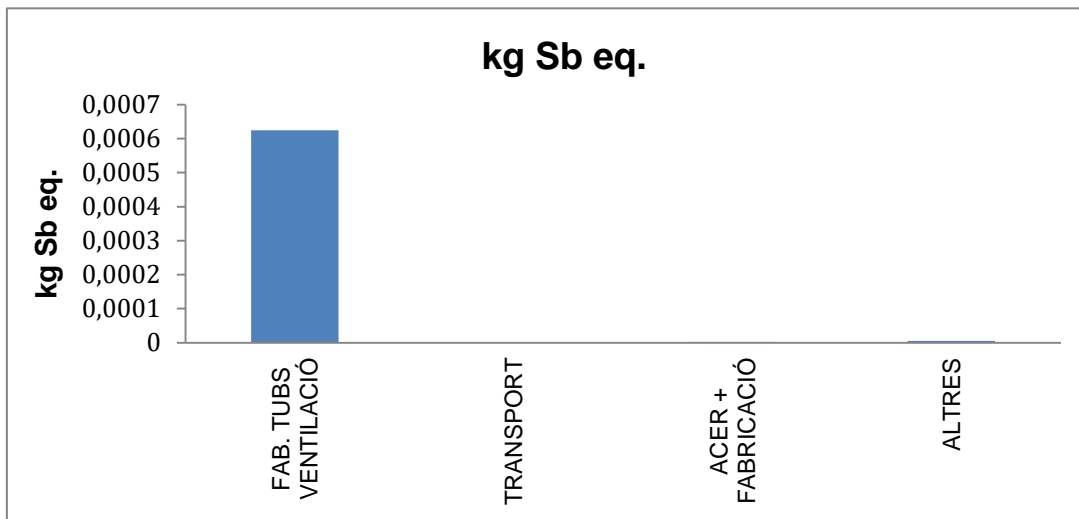


Figura 4.31. Resultats de l'exhauriment de recursos en kg considerant la fase de construcció.

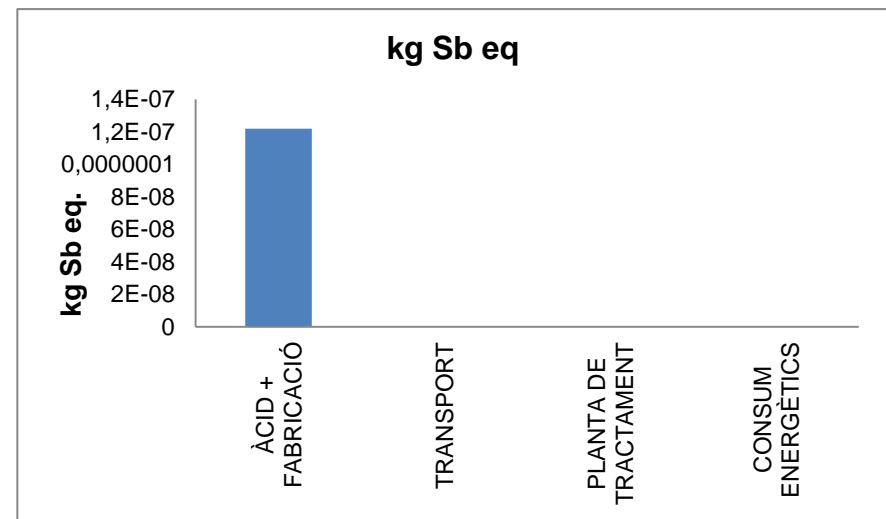


Figura 4.32. Resultats de l'exhauriment de recursos en kg considerant la fase d'operació.



4.8 Radiació ionitzant

Les radiacions ionitzants són radiacions amb energia suficient per causar la extracció d'electrons de diferents àtoms i molècules. Poden provenir de substàncies radioactives (partícules alfa i beta) o de substàncies generadores artificials (radiació gamma o radiació X). Cal tenir present que aquestes radiacions poden ser molt perjudicials per a la salut humana.

Per caracteritzar els seus efectes es quantifica el seu impacte en la població en comparació amb l'Urani 235 i són expressats en kilobecquerel d'urani 235 equivalents (kBq U₂₃₅ eq.), unitat del Sistema Internacional que quantifica l'activitat radioactiva.

Interpretació de resultats

La radiació ionitzant és un impacte causat per l'energia nuclear, per tant aquesta contaminació només pot provenir d'aquells processos que utilitzen energia elèctrica.

Si ho mirem detalladament els processos i/o materials que destaquen més a la fase d'infraestructures són el polietilè d'alta densitat i el seu procés de fabricació (49,46%) i el formigó (14,15%). A la fase d'operació destaca l'àcid i el seu procés de fabricació (97,62%). Tots aquests processos tenen un alt consum energètic.

Radiació ionitzant

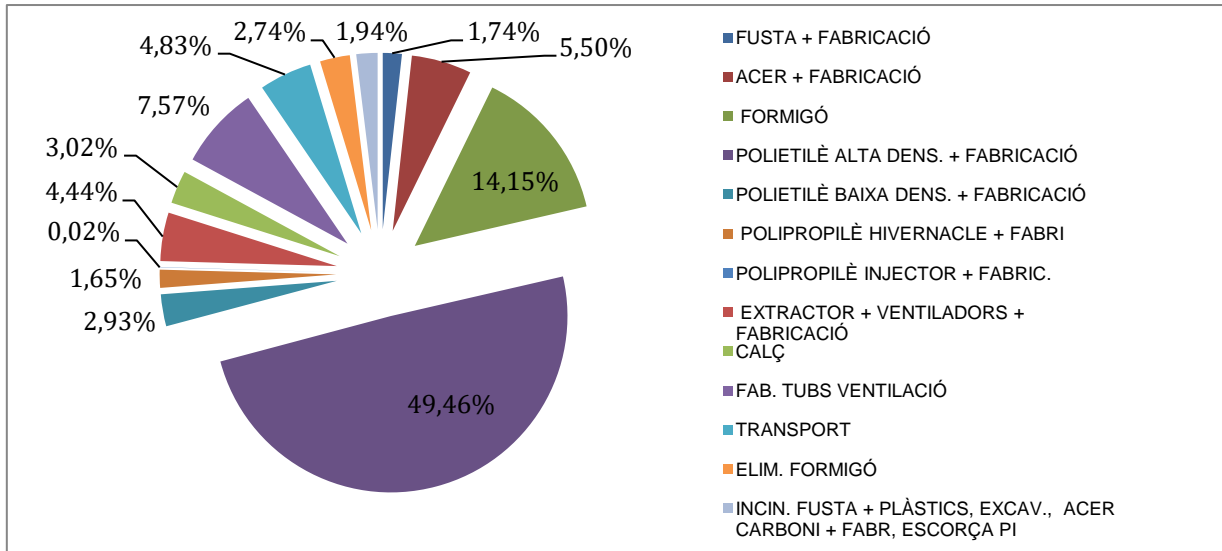


Figura 4.33. Resultats de la radiació ionitzant en % considerant la fase de construcció.

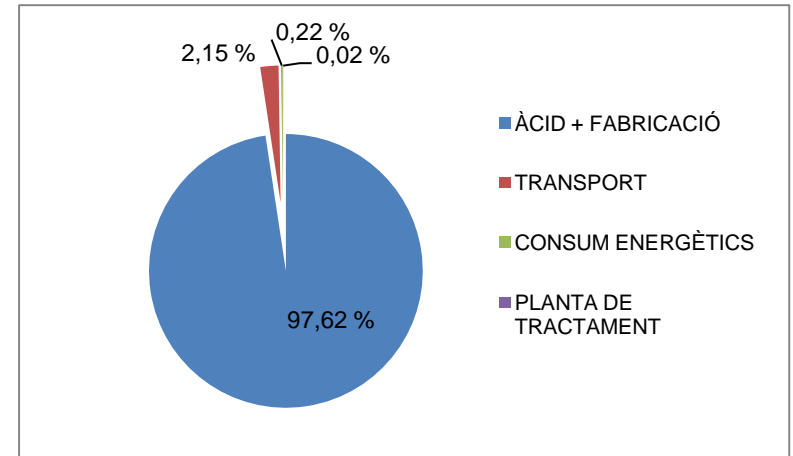


Figura 4.34. Resultats de la radiació ionitzant en % considerant la fase d'operació.

kBq U235 eq.

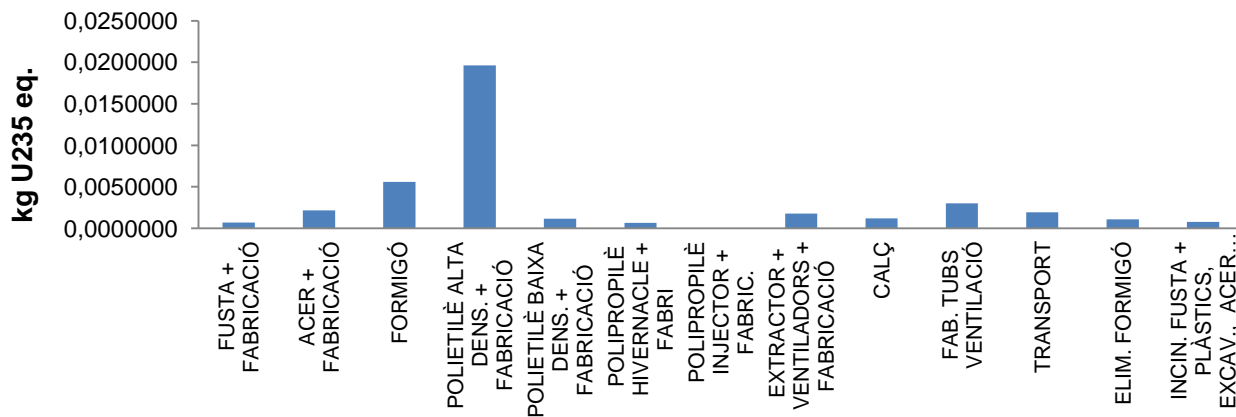


Figura 4.35. Resultats de la radiació ionitzant en kBq considerant la fase de construcció.

kBq U235 eq.

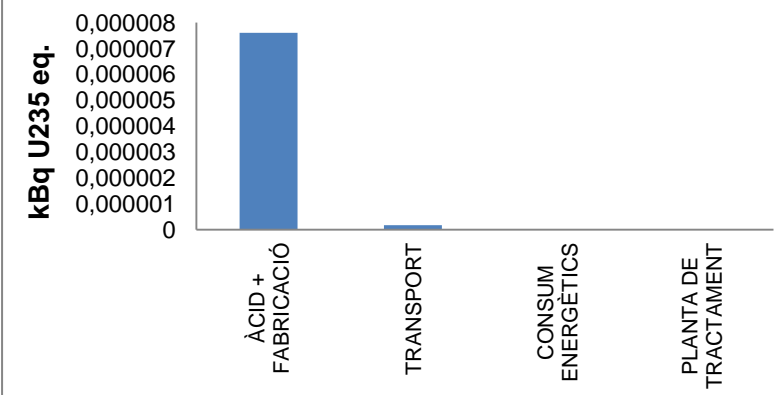


Figura 4.36. Resultats de la radiació ionitzant en kBq considerant la fase d'operació.

4.9 Formació d'ozó fotoquímic

L'ozó es troba de forma natural a la capa d'ozó, situada a l'estratosfera, a uns 10 kilòmetres d'alçada. També es troba a la troposfera (capa de l'atmosfera més pròxima a la superfície terrestre). L'ozó és un contaminant secundari, ja que no s'emet directament a l'atmosfera, sinó que es forma a partir de reaccions fotoquímiques (activades per la llum solar) entre contaminants primaris (òxids de nitrogen i compostos orgànics volàtils). Aquest fenomen es coneix com ozó fotoquímic.

L'efecte de l'impacte s'expressa com la contribució potencial dels compostos orgànics volàtils, excloent el metà, a la formació d'ozó fotoquímic (kg NMCOV eq.).

Interpretació de resultats

A la fase de construcció, destaca el polietilè de baixa densitat i el seu procés de fabricació amb un 16,70% seguit de l'acer de carboni i el seu procés de fabricació (15,72%) i el procés de fabricació dels tubs de ventilació (13,56%). Seguidament trobem tres processos que es troben pròxims al 7% d'emissions, aquests són: el procés d'excavació (7,74%), l'extractor i els ventiladors i els seus processos de fabricació (7,43%) i l'acer i el seu procés de fabricació (7,25%). Aquests processos representen una emissió del 68,39% (0,001 kg NMCOV eq. dels 0,00147 kg NMCOV eq. totals).

A la fase d'operació s'emeten $4,2 \times 10^{-7}$ kg NMVOC eq. (98,27%) deguts a l'àcid i el seu procés de fabricació i en canvi, només un 1,69% d'emissions són degudes al transport.

Formació d'ozó fotoquímic

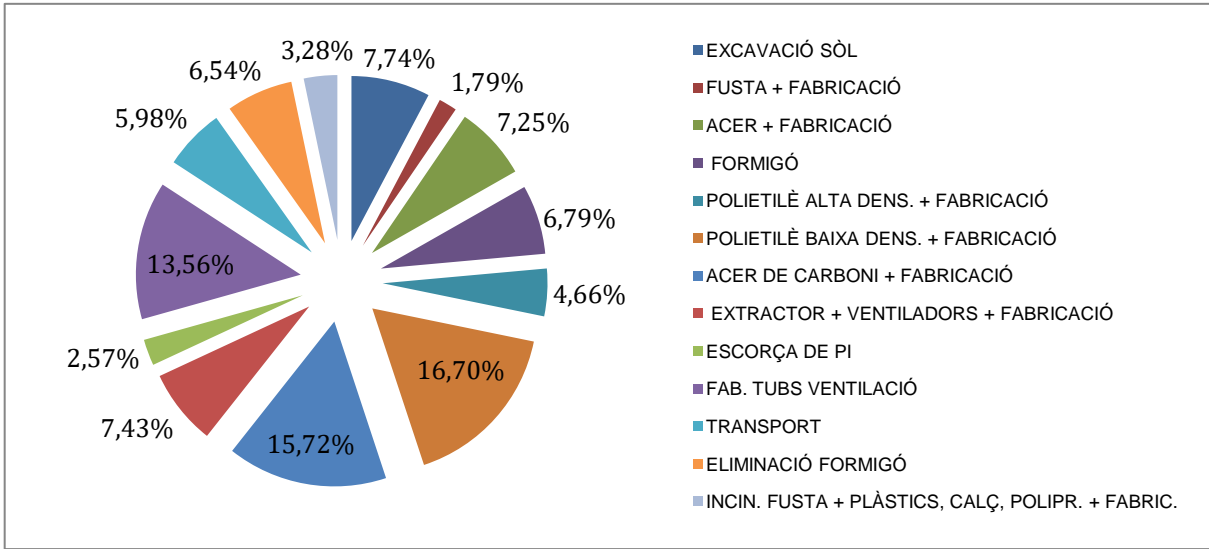


Figura 4.37. Resultats de la formació d'ozó fotoquímic en % considerant la fase de construcció.

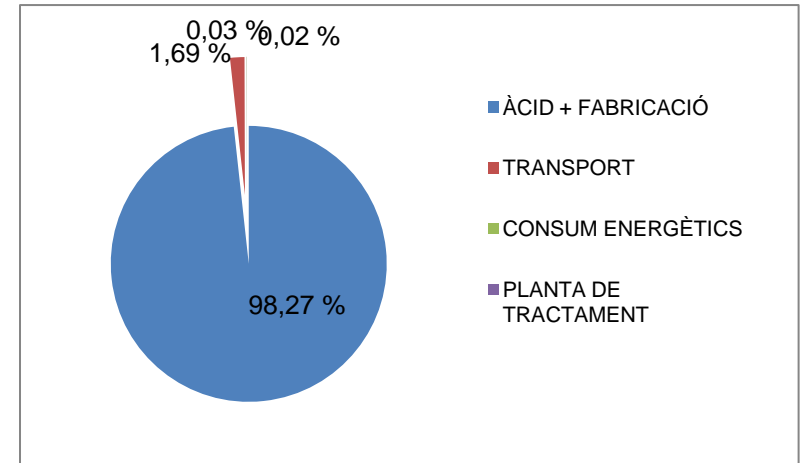


Figura 4.38. Resultats de la formació d'ozó fotoquímic en % considerant la fase d'operació.

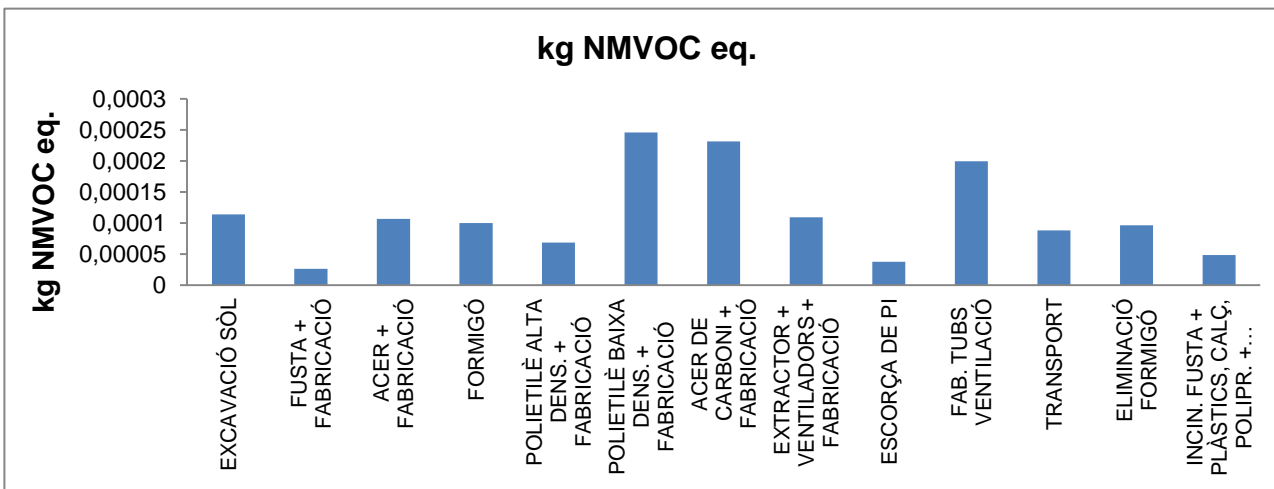


Figura 4.39. Resultats de la formació d'ozó fotoquímic en kg considerant la fase de construcció.

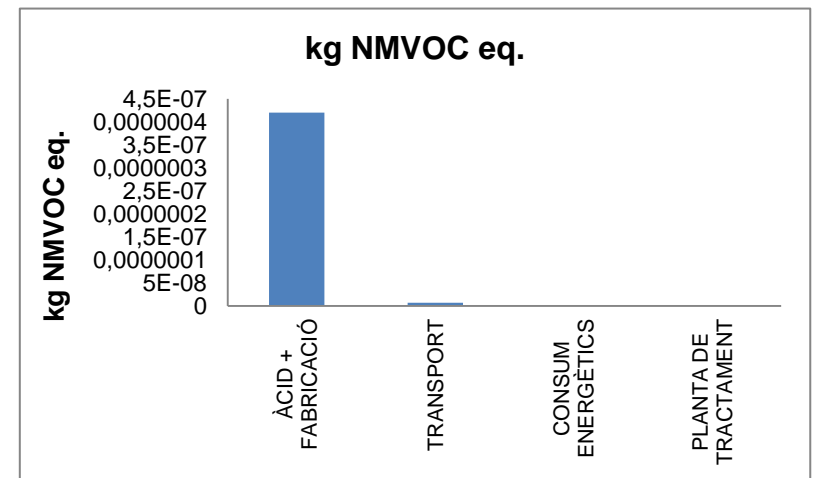


Figura 4.40. Resultats de la formació d'ozó fotoquímic en kg considerant la fase d'operació.

4.10 Comparació bibliogràfica

Per avaluar les emissions generades en aquest estudi i determinar el seu impacte es compara amb el tractament biològic proposat per l'estudi *Environmental evaluation of transfer and treatment of excess pig slurry by life cycle assesment* (López-Ridaura et al., 2009). Per dur a terme la comparativa es consideren únicament tres categories d'impacte: el canvi climàtic, l'eutrofització d'aigua dolça i l'acidificació, ja que són les úniques considerades en l'estudi de López-Ridaura.

En el cas del canvi climàtic, en aquest tractament es generen un total de 0,385 kg CO₂ eq. per m³ de purí tractat, en canvi es generen 59,1 kg CO₂ eq. per m³ de purí en el tractament biològic. Pel que fa a l'acidificació es generen un total de 0,00319 mols H⁺ eq. en comparació amb els 3,013 mols H⁺ eq. obtinguts de l'altre estudi. Per acabar, en relació amb l'eutrofització d'aigua dolça, es generen un total de 3,63E⁻⁸ kg P eq.. Respecte al tractament biològic són generats 0,28 kg P eq. totals. Com es pot comprovar, l'impacte generat a la nostra planta és molt inferior al de l'estudi de López-Ridaura.

5. CONCLUSIONS

Les conclusions més destacables de l'ACV realitzat sobre el tractament d'assecatge solar en hivernacles convenientment adaptats són:

- S'observa una gran diferència d'emissions entre les dues fases en totes les categories d'impacte, on s'observa que la fase de construcció és sempre més elevada.
- Dins de la fase de construcció:
 - El procés que causa més impactes és la fabricació de tubs de ventilació. La categoria d'impacte que rep un percentatge més elevat és la d'exhauriment de recursos (98,61%), ja que el tipus de material utilitzat per la fabricació de tubs prové de recursos naturals, com és el cas del coure. Les següents categories d'impacte més afectades per aquest procés són l'acidificació (51,85%), l'eutrofització (terrestre (63,81%), aigua dolça (40,70%) i marina (27,39%)) i les partícules en suspensió (26,01%).
 - En segon lloc, el polietilè d'alta densitat i el seu procés de fabricació causa el percentatge més elevat d'emissions a l'impacte de radiació ionitzant (49,46%) degut al seu alt consum energètic per a la seva fabricació.
 - En tercer lloc, en el canvi climàtic, la incineració de plàstics causa l'emissió més elevada amb un 27,39% seguit de l'acer de carboni i el seu procés de fabricació (22,06%). Per últim, pel que fa a la formació d'ozó fotoquímic i a la disminució de l'ozó estratosfèric, les emissions més elevades no superen el 19%.
- Dins de la fase d'operació:
 - L'àcid i la seva fabricació destaca en totes les categories degut a l'alta quantitat d'àcid addicionat necessari (25960 tones per any) per l'acidificació del purí.

Tenint en compte aquests resultats es podrien trobar millores i fer algunes modificacions, tant dels processos com dels materials, per tal de disminuir al màxim

les emissions comentades anteriorment. No obstant, cal recordar que aquest és un primer projecte d'ACV de tractament de purins realitzat a l'Escola d'Agricultura Superior de Barcelona (ESAB) conjuntament amb l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària (IRTA) i la idea de futur és realitzar-ne més sobre altres tipus de tractaments amb una finalitat comparativa.

Per últim, cal destacar que es tracta d'un tractament innovador i sostenible tant econòmicament com ambientalment, ja que les emissions generades durant el tractament d'assecatge solar (fase d'operació) són inapreciables i molt per sota d'altres estudis d'ACV de tractament de purins, com s'ha vist amb la comparativa de l'estudi de López-Ridaura. Tot i això cal recordar que aquest tractament va destinat únicament a petites i mitjanes explotacions amb una producció anual de purins no gaire elevada (a més producció, més necessitat de sòl agrícola i per tant, més impacte) i d'unes característiques semblants a aquesta planta.

6. BIBLIOGRAFIA

Antón, A., Torrellas, M., Raya, V. and Montero, J. (2014), Modelling the amount of materials to improve inventory datasets of greenhouse infrastructures. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 29-41.

Antón, M.A. (2004), Capítol 3. Metodología del Análisis del ciclo de vida. *Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya.

Babot, D., Andrés, N., de la Peña, L., Chávez, E. (2004), *Tècniques de gestió mediambiental en producció porcina*. Departament de producció Animal, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de Lleida. Universitat de Lleida.

Cederberg, C. and Mattsson, B. (2000), Life cycle assessment of milk production – a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner Production*, 8, 49-60.

Coma, J. i Bonet, J. 2004. Producción ganadera y contaminación ambiental. Grupo Vall Companys: Nutrición y Alimentación Animal. *XX Curso de Especialización FEDNA*. pp. 237-272.

Danés, R.; Molina, V.; Prats, I.; Álamos, M.; Boixadera, J; Torres, E. (1995), *Manual de gestió dels purins i de la seva reutilització agrícola*. Departament de Medi Ambient, Junta de residus i DARP. Generalitat de Catalunya. Barcelona.

De Boer, I. (2003), Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. *Livestock Production Science*, 80, 69-77.

Dourmad, J., Ryschawy, J., Trousson, T., Bonneau, M., González, J., Houwers, H., Hviid, M., Zimmer, C., Nguyen, L. and Morgensen, L. (2014), Evaluating environmental impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment. *Animal*, 8, 2027-2037.

European Commission, Joint Research Centre and Institute for Environment and Sustainability. Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact

Assessment methods. Database and Supporting Information. First edition. February 2012. Luxembourg.

European Commission, Joint Research Centre and Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – Life Cycle Impact Assessment Models and Indicators. First edition. March 2010. Luxembourg.

Finnveden, G., Hauschild, M., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. and Suh, S. (2009), Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91, 1-21.

Flotats, X., Campos, E., Illa, J., Magrí, A., Palatsi, J., Solé, F. (2004). *Guia de tractaments de les dejeccions ramaderes*. ARC i DARP Generalitat de Catalunya. Lleida.

Fullana, P y Puig, R (1997), *Anàlisis del Ciclo de Vida*. Rubes editorial, Barcelona.

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R. (2013): ReCiPe 2008: A Life Cycle Impact Assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report 1: Characterisation factors, first edition (version 1.08). Ruimte en Milieu. 126 pp.

Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., Meijer, E. (2016). *Introduction to LCA with SimaPro*. PRé Consultants B.V. 80 pp.

Goedkoop, M., Spriensma, R. (2000). *The Eco-Indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*. PRé Consultants B.V. Amersfoort. 132 pp.

Guinée, J.B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., Van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, A., Udo de Haes, H.A., de Bruijn, H., van Duin, R. and Huijbregts, M.A.J. (2001), *Life Cycle Assessment. An operational guide to the ISO standards, vol 1, 2 i 3*. Center of Environmental Science Leiden University (CML).

Halberg, N., van der Werf, H., Basset-Mens, C., Dalgaard, R. and de Boer, I. (2005), Environmental assessment tools for the evaluation and improvement of European livestock production systems. *Livestock Production Science*, 96, 33-50.

Hass, G., Wetterich, F. and Geier, U. (2000), Framework in Agriculture on the Farm Level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 5.

Hooda, P., Edwards, A., Anderson, H. and Miller, A. (2000), A review of water quality concerns in livestock farming areas. *The Science of the Total Environment*, 250, 143-167.

ISO 14040 (2006). *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. International Organisation for Standardisation, ISO. Geneva. Disponible a: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=37456

ISO 14044 (2006). *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*. International Organisation for Standardisation, ISO. Geneva. Disponible a: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=38498

Kreith, F. Principios de transferencia de calor. 6a ed. Madrid: Ed. International Thomson, 2002.

Lopez-Ridaura, S., van der Werf, H., Paillat, J.M. and Le Bris, B. (2009), Environmental evaluation of transfer and treatment of excess pig slurry by life cycle assesment. *Journal of Environmental Management*, 90, 1296-1304.

Orús, F., Yaqüe, M.R., Iguácel, F. (2010), Uso de los estiércoles en la fertilización agrícola, y su justificación en relación con la normativa aragonesa. *Informaciones técnicas*. Núm. 219. Dirección general de desarrollo rural. Centro de Transferencia Agroalimentaria de Aragón. Gobierno de Aragón. 16 pág.

Riopérez, J. y Rodríguez, M. (2007), Gestión, manejo y tratamiento tecnológico del purín de cerdos. *Mundo Ganadero*, 202, 40-44.

Sonnemann G., Valdivia S. (2014) The UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. In: Klöpffer W. (eds) Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment. LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment. Springer, Dordrecht

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. and Haan, C. (2006). *Livestock's Long Shadow*, FAO, Rome.

Weldema, B.P., Bauer, C., Hischer, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., Vadenbo C.O., Wenet, G. (2013). *Overview and methodology*. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1(v3). St. Gallen: The ecoinvent Centre

Xarxa Temàtica Catalana d'ACV. (2002), *Llibre Didàctic d'Anàlisi del Cicle de Vida*. Coordinació i Edició de Rita Puig, amb la col·laboració del Departament de Medi Ambient i el Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya. Barcelona.