Títol del treball:

Aplicació de la metodologia de l'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV) a una depuradora de fangs actius (Manlleu)

Estudiant: Arnau Martorell Sala Grau en Ciències Ambientals
Correu electrònic: u1915233@campus.udg.edu

Tutor: Quim Comas
Cotutor*: Serni Morera
Empresa / institució: Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental/ UdG

Vistiplau tutor (i cotutor*):
Nom del tutor: Quim Comas Nom del cotutor*: Serni Morera Empresa / institució: LEQUIA / UdG Correu(s) electrònic(s): joaquim.comas@udg.edu, sadurni@lequia.udg.cat

*si hi ha un cotutor assignat

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació:

Índex

Resum/Resumen/Abstract 2

1. Introducció 5

1.1. Context i motivació 5

1.2. EDAR Manlleu 6

2. Objectives 7

3. Metodologia 7

3.1. Introducció a l'Anàlisi del Cicle de Vida (ACV) 7

3.2. Definició d'objectiu i abast de l'estudi 8

3.3. Anàlisi de l'inventari 9

3.4. Avaluació de l'impacte 9

3.5. Interpretació de l'ACV 10

4. Definició d'objectiu i abast 10

4.1. Objectiu 10

4.2. Unitat funcional 11

4.3. Límits/abast del sistema 11

4.4. Qualitat de dades i simplificacions 12

5. Anàlisi de l'inventari 13

5.1. Procés de pretractament 13

5.2. Procés de tractament secundari 14

5.3. Procés de línia de fangs 17

5.4. Altres parts del procés 18

6. Avaluació de l'impacte 18

7. Interpretació de l'ACV 22

8. Conclusions 23

Referències 24

Annexos 26

Resum

L'activitat humana genera aigües residuals que cal depurar abans del seu retorn al medi receptor. Les EDAR es dissenyen i operen per eliminar els contaminants presents a les aigües residuals per tal que l'impacte sobre el medi receptor sigui admissible; malgrat tot, les EDARs, com qualsevol activitat industrial o de producció generen també una sèrie d'impactes ambientals. Cal minimitzar aquests impactes tant en les plantes actuals com en les possibles ampliacions de plantes amb noves tecnologies per aconseguir límits de depuració més estrictes. L'anàlisi de cicle de vida és un mètode àmpliament acceptat d'avaluació i interpretació dels impactes ambientals d'un procés o producte.

L'objectiu del present estudi és avaluar l'impacte ambiental potencial corresponent a l'EDAR de Manlleu a partir de l'anàlisi del cicle de vida (ACV), que és una metodologia que té en compte l'ús de matèria, energia i abocaments a l'entorn durant les etapes de construcció, transport, operació i desmantellament. Les fases del cicle de vida considerades a l'estudi han estat, la construcció i l'operació de l'EDAR. L'impacte ambiental durant la fase d'operació d'una EDAR és degut al consum d'energia, la utilització de productes químics, les emissions a l'atmosfera i l'aigua i la producció de fangs. També s'ha tingut en compte l'ús de materials per la construcció de la planta i s'ha descartat incloure el procés de desmantellament. Per la fase de construcció, s'han analitzat els consums de materials per la construcció a partir del pressupost de l'obra civil i per la fase d'operació les entrades (energia, productes químics...) i sortides (aigua, fangs, emissions a l'atmosfera...) del sistema. La unitat funcional escollida per l'estudi ha estat el volum d'aigua tractada a l'EDAR durant 20 anys. Les dades de l'inventari durant la fase d'operació s'han tret de diferents documents de control de l'operació de l'EDAR de l'any 2014. Finalment per fer l'estudi s'ha considerat que l'EDAR té una vida útil de 20 anys.

Per l'avaluació de l'inventari de l'anàlisi de cicle de vida s'ha utilitzat el programa informàtic SimaPro® i les categories d'impacte analitzades han estat: *Climate Change*, *Ozone Depletion*, Freshwater *Eutrophication*, *Marine Eutrophication*, *Human Toxicity*, *Metal Depletion* i *Fossil Depletion*.

Els resultats obtinguts a partir de l'inventari, mostren que l'etapa d'operació de la planta té més impacte que la de construcció en quasi totes les categories estudiades. L'anàlisi per separat de cada etapa de la planta indica que el tractament secundari i el pretractament són les que presenten un impacte més important degut a un major consum de productes químics i elevat consum d'energia.

Aquest estudi demostra que per aconseguir un menor impacte en el procés de depuració de l'aigua s'han d'aplicar les tecnologies més eficients, optar per productes químics amb poc impacte ambiental i reduir la càrrega ambiental que representa el consum energètic necessari en el procés.

Resumen

La actividad humana genera aguas residuales que hay que depurar antes de su regreso al medio receptor. Las EDAR se diseñan y operan para eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales para que el impacto sobre el medio receptor sea admisible; sin embargo, las EDARs , como cualquier actividad industrial o de producción generan también una serie de impactos ambientales. Hay que minimizar estos impactos tanto en las plantas actuales como en las posibles ampliaciones de plantas con nuevas tecnologías para conseguir límites de depuración más estrictas. El análisis de ciclo de vida es un método ampliamente aceptado de evaluación e interpretación de los impactos ambientales de un proceso o producto.

El objetivo del presente estudio es evaluar el impacto ambiental potencial correspondiente a la EDAR de Manlleu a partir del análisis del ciclo de vida (ACV), que es una metodología que tiene en cuenta el uso de materia, energía y vertidos al entorno durante las etapas de construcción, transporte, operación y desmantelamiento. Las fases del ciclo de vida consideradas en el estudio han sido, la construcción y la operación de la EDAR. El impacto ambiental durante la fase de operación de una EDAR se debe al consumo de energía, la utilización de productos químicos, las emisiones a la atmósfera y el agua y la producción de fangos. También se ha tenido en cuenta el uso de materiales para la construcción de la planta y se ha descartado incluir el proceso de desmantelamiento. Para la fase de construcción, se han analizado los consumos de materiales para la construcción a partir del presupuesto de la obra civil y para la fase de operación las entradas (energía, productos químicos...) y salidas (agua, lodos, emisiones a la atmósfera...) del sistema. La unidad funcional elegida para el estudio ha sido el volumen de agua tratada en la EDAR durante 20 años. Los datos del inventario durante la fase de operación se han sacado de diferentes documentos de control de la operación de la EDAR del año 2014. Finalmente para hacer el estudio se ha considerado que la EDAR tiene una vida útil de 20 años.

Para la evaluación del inventario del análisis de ciclo de vida se ha utilizado el programa informático SimaPro® y las categorías de impacto analizadas han sido: *Climate Change, Ozone Depletion, Freshwater Eutrophication, Marine Eutrophication, Human Toxicity, Metal Depletion y Fossil Depletion*.

Los resultados obtenidos a partir del inventario, muestran que la etapa de operación de la planta tiene más impacto que la de construcción en casi todas las categorías estudiadas. El análisis por separado de cada etapa de la planta indica que el tratamiento secundario y el pre tratamiento son las que presentan un impacto más importante debido a un mayor consumo de productos químicos y elevado consumo de energía.

Este estudio demuestra que para lograr un menor impacto en el proceso de depuración del agua se aplicarán las tecnologías más eficientes, optar por productos químicos con poco impacto ambiental y reducir la carga ambiental que representa el consumo energético necesario en el proceso.

Abstract

Human activity generates waste water that must be treated before returning to the receiving environment. WWTP are designed and operated to remove contaminants present in the wastewater so that the impact on the receiving environment is permitted; however, WWTPs, like any industrial activity or production process also generate some environmental impacts. There is the need to minimize these impacts both existing plants and possible extensions of plants with new technologies for purification stricter limits. The life cycle analysis is a widely accepted method of evaluation and interpretation of the environmental impacts of a process or product.

The aim of this study is to evaluate the potential environmental impacts of the Manlleu WWTP through life cycle analysis (LCA), which is a methodology that takes into account the use of materials, energy and discharges into the environment during the construction stages, transportation, operation and dismantling. The life cycle stages considered in the study were the construction and operation of the WWTP. The environmental impact during the operation phase of a WWTP is due to energy consumption, use of chemicals, emissions to air and water and sludge production. Also taken into account the use of materials for the construction of the plant and has been ruled out include the dismantling process. For the construction phase, we have analyzed the consumption of building materials from the budgets of the civil works and the operation phase inputs (energy, chemicals...) and outputs (water, sludge, emissions... to the atmosphere) system. The functional unit chosen for the study was the volume of treated water for 20 years. Inventory data during the operation phase are taken from different operation controlling documents of the WWTP 2014. Finally, it was considered that the WWTP has a lifespan of 20 years.

For evaluation of the inventory life cycle analysis it was used SimaPro® software and the impact categories analyzed were: Climate Change, Ozone Depletion, Eutrophication Freshwater, Marine Eutrophication, Human Toxicity, Metal Depletion and Fossil Depletion.

The results obtained from the inventory show that the operational phase of the plant has more impact than the construction phase in almost all categories studied. The separate analysis of each stage of the plant indicates that the secondary treatment and pre-treatment are those with a greater impact due to increased consumption of chemicals and high energy consumption.

This study shows that to achieve a lower impact on the water purification process more efficient technologies, opt for chemicals with low environmental impact and reduce the environmental burden of energy consumption in the process need to apply.

1. Introducció

1.1. Context i motivació

El 6 de maig de 1986 va ser redactada la Carta Europea de l'Aigua a Estrasburg, un primer pas per donar la importància que es mereix un tema com és l'aigua. Va ser una declaració de principis per a una correcta gestió de l'aigua i es divideix en 12 articles, els més significatius dels quals són:

> I. No hi ha vida sense aigua; l'aigua és un bé preciós indispensable a tota activitat humana.
>
> III. Alterar la qualitat de l'aigua és perjudicar la vida de l'home i la dels éssers que en depenen.
>
> IV. La qualitat de l'aigua ha de ser l'adequada a les exigències de la salut pública i a les previstes necessitats d'utilització.
>
> V. L'aigua usada ha de tornar a l'ambient natural sense comprometre l'ús posterior, sigui públic o privat.

El creixement de les grans ciutats i el desplaçament de gent del medi rural a ciutats van fer obligat pensar en un tractament de les aigües residuals generades a cada casa i que no es podien abocar directament al medi sense cap tractament previ.

L'estació depuradora d'aigües residuals (EDAR) consisteix en una sèrie de processos físics, químics i biològics que tenen la finalitat d'eliminar els contaminants de les aigües abans de ser retornades al medi complint una sèrie de requisits (Directiva 91/271/CEE i R.D. Ley 11/95). L'objectiu d'aquest tractament és produir aigua neta o reutilitzable en l'ambient (regs jardins, camps de golf...). Per altra banda, també es produeix un residu sòlid o fang (també anomenat llot) el qual pot ser dipositat en abocadors o pot ser reutilitzat (agricultura, compostatge...).

Les aigües residuals són generades en residències, institucions, locals comercials i industrials. Aquestes poden ser tractades dins del lloc en el qual són generades (en tancs sèptics o altres mitjans de depuració) o bé poden ser recollides i portades mitjançant una xarxa de canonades fins una planta de tractament centralitzat. Els esforços per recollir i tractar les aigües residuals domèstiques estan típicament subjectes a regulacions i estàndards locals, estatals i federals. Sovint certs contaminants d'origen industrial presents en les aigües residuals requereixen processos de tractament especialitzats.

Hi ha diferents paràmetres per la mesura de la contaminació, que es poden estimar amb indicadors com la DBO_5 (demanda biològica d'oxigen als cinc dies) i la DQO (demanda química d'oxigen), que són les quantitats d'oxigen necessàries per oxidar la matèria orgànica susceptible de ser oxidada per via biològica o química, respectivament. Un altre paràmetre és la quantitat de sòlids en suspensió totals (SST). També hi ha altres mesures com: el pH, concentració de determinades substàncies (nitrogen, fòsfor...), terbolesa, etc.

Els processos en què es divideix la depuració de les aigües residuals són els següents: pretractament i tractament primari (sòlids més grollers, arenes, sorres, greixos i altres sòlids

presents a l'aigua en suspensió o flotació), tractament secundari (consisteix en l'eliminació de la fracció dissolta dels contaminants presents a l'aigua residual, sobretot matèria orgànica, nitrogen i fòsfor, mitjançant un cultiu biològic multiespecífic de microorganismes. Seguidament es fa una decantació dels bacteris per separar-los de l'aigua) i, en algunes ocasions, un tractament terciari consistent en un conjunt de tractaments fisicoquímics encarats a eliminar matèria orgànica refractària o a desinfectar les aigües tractades per a una possible reutilització, i, finalment, la línia de fangs per espessir, deshidratar i estabilitzar els fangs abans d'abocar-los o reutilitzar-los.

Les EDAR tenen un efecte molt positiu pel que fa la disminució de l'impacte de descàrrega de les aigües residuals als medi receptor (rius, llacs, embassaments o mar) però també generen altres impactes ambientals que cal ser capaços d'avaluar i intentar minimitzar o eliminar.

L'anàlisi de cicle de vida (en anglès, LCA, Life Cycle Assessment), és una metodologia per avaluar els impactes ambientals associats a un producte, procés o activitat, identificant i quantificant l'ús de matèria, energia i els abocaments a l'entorn; per determinar l'impacte que aquest ús de recursos i abocaments produeix al medi ambient, i per avaluar i portar a terme estratègies de millora ambiental (Lamana i Aja, 2010).

Aquest estudi inclou el cicle complet del procés, considerant les etapes de: construcció, transport, operació i disposició dels residus. Per tant, l'ACV consisteix en un procés de comptabilitat ambiental en el qual es carreguen als productes els efectes ambientals adversos, degudament quantificats que es generen durant el seu cicle de vida (Antón, 2004).

L'avaluació de l'impacte ambiental de les EDAR es pot realitzar tant de les EDARs en operació com de les possibles futures construccions o ampliacions, buscant així unes instal·lacions cada cop més sostenibles, aconseguint reduir el seu impacte sobre el medi ambient.

1.2. EDAR Manlleu

L'estació depuradora d'aigües residuals de Manlleu està situada al terme municipal de Manlleu, a la província de Barcelona. Es va construir l'any 1993 per satisfer les necessitats del moment, però ha experimentat una ampliació a l'any 2010 per incrementar la seva capacitat de tractament. Els municipis als quals assisteix són Manlleu, Sant Hipòlit de Voltregà, Les Masies de Voltregà i Les Masies de Roda. El clavegueram que dur l'aigua fins a la EDAR es compon de 17,3 quilòmetres de col·lectors i vuit bombaments, i un cop tractada, l'aigua s'aboca al riu Ter al seu pas per la mateixa població. El tipus de tractament que es realitza és un tractament biològic amb eliminació de nitrogen i eliminació química de fòsfor, i està dissenyada per tractar un cabal de 14.400 m^3/dia que representen una població equivalent estimada de 44.153 habitants equivalents, tot i que a la pràctica es tracten uns 10.000 m^3/dia. Les etapes de procés són: una línia de pretractament, no disposa de tractament primari i es passa directament a un tractament secundari de fangs activats de baixa càrrega, un espessiment dels fangs per gravetat i una deshidratació mitjançant centrífuga. Els fangs generats són transportats a la planta de compostatge de Fervosa (Manlleu) per produir adob.

2. Objectives

The main objective of this study is to apply the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) to the wastewater treatment plant (WWTP) of Manlleu to evaluate the environmental loads of the wastewater treatment before discharging it to the environment. In order to achieve this main objective, several sub-objectives are established:

- Acquire knowledge of the methodology of life cycle assessment (ISO 14040 to ISO 14044) and of its application to a WWTP.

- Comparison of the environmental impacts caused by the construction, operation during 20 years, transport of chemicals and disposal of subproducts of a WWTP.

- Identification of the most relevant parts of the wastewater treatment process contributing to the environmental impacts.

- Identification of the most relevant resources regarding their contribution to the overall environmental impacts (materials, energy…).

- Propose improvements in order to reduce the impact of the WWTP.

3. Metodologia ACV

3.1. Introducció a l'Anàlisi del Cicle de Vida (ACV)

L'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV) és una eina de gestió que s'usa per avaluar els impactes ambientals potencials associats a un procés o producte durant tot el seu cicle de vida, des de l'obtenció de les matèries primeres utilitzades fins a la seva disposició o finalització d'ús, tenint en compte totes les etapes intermèdies com la producció, l'ús, el transport i el reciclatge. És un estudi amb certa complexitat i requereix d'un protocol específic al que s'ha d'ajustar qualsevol estudi d'ACV i que està descrit a la ISO 14040-14044:2006.

L'ACV pertany a la família de normes ISO 14000, establertes per l'Organització Internacional per a l'Estandardització (ISO) que estan enfocades a la gestió mediambiental per tal de minimitzar els efectes negatius causats en el medi ambient per les activitats, i millorar els processos productius, reduint la despesa energètica i de materials. Concretament, l'ACV es troba entre les categories ISO 14040 i ISO 14044, que descriuen els principis i el marc per a l'ACV:

ISO 14040 (1997): principis i necessitats bàsiques per fer un estudi d'ACV, sense detallar tot el procés.

ISO 14041 (1998): es detalla els procediments per l'elaboració dels objectius i abast de l'estudi, i també per elaborar l'informe de l'anàlisi de l'inventari del cicle de vida (ICV).

ISO 14042 (2000): guia de l'estructura general de la fase d'anàlisi de l'impacte del cicle de vida, AICV.

ISO 14043 (2000): recomanacions i pautes per realitzar la fase d'interpretació de l'ACV.

ISO 14044 (2006): integra, complementa i anul·la les normatives ISO anteriors per l'aplicació de la metodologia de l'aplicació de l'ACV.

Així, l'estructura de l'estudi segueix la metodologia proposada per la normativa ISO 14044, incloent: definició de l'objectiu i l'abast de l'anàlisi, l'anàlisi de l'inventari (de matèria i energia) i les emissions de cadascuna de les etapes del cicle de vida, l'avaluació dels impactes sobre el medi ambient dels consums i emissions i una interpretació dels resultats. A la Figura 1 es representen les principals etapes de qualsevol ACV tal com estableix la ISO 14044.

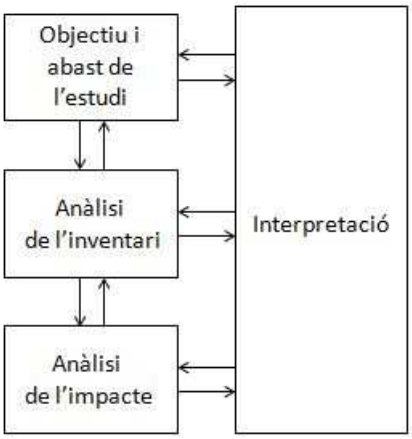

Figura 1: Principals fases de l'ACV. Font: ISO 14044.

3.2. Definició d'objectiu i abast de l'estudi

A la primera fase d'aplicació de la metodologia ACV es defineix l'objectiu , l'abast, els límits del sistema, la unitat funcional i el nivell de detall de l'anàlisi de cicle de vida, la definició de tots aquests aspectes depèn del subjecte i de l'ús previst d'aquest. Per tant, el nivell de detall i l'amplitud de l'estudi poden variar considerablement en funció de la finalitat que tingui aquest (ISO 14044), cal concretar-ho abans de començar l'estudi perquè els resultats seran completament diferents depenent del nivell de concreció que es vulgui aconseguir.

La unitat funcional és clau en l'ACV i per això cal establir-la tot just començar a fer l'estudi, és la mesura de la funció del sistema estudiat, i totes les dades que es recolliran durant la fase d'inventari tindran la unitat funcional com a unitat de mesura. La seva definició és un aspecte clau en un estudi ACV i a vegades és complicat trobar una bona unitat funcional per l'ACV que vulguem realitzar.

L'abast i els límits del sistema tenen l'objectiu de determinar quins són els processos que s'inclouen en l'anàlisi. En funció del nivell de detall que es vulgui assolir, els límits seran més o menys extensos.

La validesa dels resultats dependrà de la qualitat de les dades que s'hagin utilitzat durant l'anàlisi. S'han de tenir en compte tant les propietats de les dades utilitzades com les

aproximacions i les assumpcions, ja que la validesa disminuirà a mesura que hi hagi més aproximacions en les dades.

3.3. Anàlisi de l'inventari

La fase de l'anàlisi de l'inventari inclou la recol·lecció de dades i procediments de càlcul per poder quantificar les entrades i sortides del sistema, quantitativament i qualitativament, sempre en referència a la unitat de funcional. Les dades que es necessiten per poder realitzar un bon inventari seran: dades de consums de materials, consums d'energia, productes, residus, emissions a l'aire, descàrregues al sòl i aigua, i altres aspectes ambientals que puguin ser rellevants.

Normalment és la fase més llarga de l'estudi i la que comporta més dedicació d'hores, com més detall es vulgui obtenir més llarga serà aquesta fase. En aquesta fase de l'estudi ja es pot començar a intuir d'on provenen els majors impactes sobre el medi del producte o procés.

El que s'acaba obtenint en aquesta fase és una llista amb les emissions de contaminants alliberades al medi ambient i la quantitat de matèries i energia consumida i els residus generats en relació a la unitat funcional.

3.4. Avaluació de l'impacte

La fase d'avaluació de l'impacte està encarada a l'avaluació de la significació dels impactes ambientals del producte o procés utilitzant les dades l'anàlisi de l' inventari.

Existeixen diferents softwares per processar les dades obtingudes durant la fase d'inventari com el SimaPro, Gabi i UMBERTO. El SimaPro és el programa utilitzat en aquest treball, que és un software desenvolupat per la companyia PréConsultants. Aquest programa incorpora diverses bases de dades d'inventaris d'Anàlisi de Cicle de Vida (ILCD, Ecoinvent...), a més d'informació sobre diferents mètodes de càlcul. Aquest software permet relacionar la informació de l'inventari obtingut en la fase anterior amb la informació que es troba en les diferents bases de dades, i finalment, escollint un mètode de càlcul permet calcular els impactes ambientals potencials causats pel procés o producte estudiat.

El mètode de càlcul per l'avaluació d'impactes dependrà dels objectius de l'anàlisi del cicle de vida, hi ha diferents mètodes com poden ser: CML2®, EDIP 2003®, IMPACT 2002+®, CML2001, l'Eco-Indicator99 o ReCiPe®. En aquest estudi s'opta per utilitzar el ReCiPe v.1.09, que es va desenvolupar per combinar els avantatges que presentaven dos mètodes anteriors com el CML2001 i l'Eco-Indicator99, així s'aconsegueix la solidesa científica del CML i la facilitat d'interpretació que ofereix l'Eco-Indicator99. El ReCiPe desglossa l'impacte ambiental en diferents categories, les escollides per aquest treball són les següents:

- *Climate change:* mesura les emissions de gasos d'efecte hivernacle (CO_2, CH_4, N_2O, gasos fluorats...) a l'atmosfera que provoquen un augment de la temperatura mitjana de l'atmosfera terrestre i dels oceans, especialment durant les últimes dècades, s'expressa en kg equivalents de CO_2.

- *Ozone layer depletion*: mesura la quantitat de gasos emesos que provoquen la reducció de la capa d'ozó, s'expressa en kg CFC-11 equivalents.

- *Freshwater eutrophication:* basat en el lliurament de compostos de fòsfor als cursos d'aigua dolça que poden causar una acumulació d'aquests i provocar l'aparició de microorganismes i reaccions adverses al medi, s'expressa en kg de P equivalents.

- *Marine eutrophication:* basat en el lliurament de compostos nitrogenats als oceans que poden causar una acumulació d'aquests i provocar l'aparició de microorganismes i reaccions adverses al medi, s'expressa en kg de N equivalents.

- *Human toxicity:* impacte sobre la salut humana de les substàncies tòxiques acumulades en les xarxes tròfiques i presents en el medi ambient, s'expressa en kg 1,4-Diclorobenzè equivalents.

- *Metal depletion:* es determina per cada extracció de minerals, basant-se en les reserves d'aquests i el ritme d'esgotament, s'expressa en kg de Fe equivalents.

- *Fossil depletion:* es determina per l'extracció de combustibles fòssils, basant-se en les reserves d'aquests i el seu ritme d'esgotament, s'expressa en kg de petroli equivalents.

Les unitats de cada categoria s'expressen en equivalents perquè és un sistema de mesura estàndard per sumar tot l' impacte d'una categoria en un únic valor per facilitar el posterior anàlisi. Cada categoria té establerta una unitat concreta, els factors que hi tenen influència es converteixen a aquesta mateixa unitat de referència, unitat equivalent. Així, per exemple, en el cas del *Climate change* s'expressa en kg CO_2 equivalent, les emissions de CO_2 tindran un valor de 1, però el metà en comparació amb el CO_2 té un impacte 25 vegades major, les emissions d'un kg de CH_4 és equivalent a 25 kg de CO_2 per tant cal multiplicar els kg de CH_4 per 25.

3.5. Interpretació de l'ACV

La interpretació de l'anàlisi del cicle de vida és l'última fase d'un ACV, és on es resumeixen els resultats de l'inventari i l'avaluació de l'impacte. Conté la part d'informació fonamental per poder extreure les conclusions de l'estudi i uns resultats ferms, també es detallen les limitacions que hi ha hagut durant la realització de l'anàlisi. Per últim, també es determinen les principals mesures a implementar per reduir l'impacte o les emissions.

4. Definició d'objectiu i abast

4.1. Objectiu

L'objectiu és l'avaluació dels principals impactes ambientals potencials causats per l'EDAR de Manlleu, incloent la construcció i l'operació, es descarta incloure el desmantellament de la planta per manca de dades, ja que s'han desmantellat molt poques plantes depuradores, fins al moment, es busca la renovació de maquinària o ampliació abans que desmantellar tota la planta sencera.

4.2. Unitat funcional

Pel que fa a la unitat funcional hi ha diferents opcions a escollir i una vegada consultades diverses fonts bibliogràfiques s'opta per establir els m^3 d'aigua tractada durant 20 anys com a unitat funcional per l'anàlisi, ja que ens basem en dades reals proporcionades pels tècnics que operen a la planta i és l'opció més fàcil i correcta. Això permetrà comparar amb facilitat els resultats amb altres estudis realitzats anteriorment.

4.3. Límits/abast del sistema

De la mateixa manera com s'ha establert en la part dels objectius de l'estudi, l'abast del sistema comprendrà la fase de construcció de la planta i el tractament de l'aigua i es descarta el desmantellament de la planta (Figura 2). Els límits del sistema inclouran:

- Volum d'aigua tractada considerant també compostos que hi queden després del tractament (nitrogen, fòsfor, DQO i sòlids).

- Consum energètic de les diferents etapes.

- Emissions de gasos d'efecte hivernacle directes durant el tractament i amb els compostos que van al riu, basat en dades bibliogràfiques (Foley et al., 2010).

- Els transports i consums de reactius.

- Els transports i disposició de fangs.

- Els materials usats en la construcció.

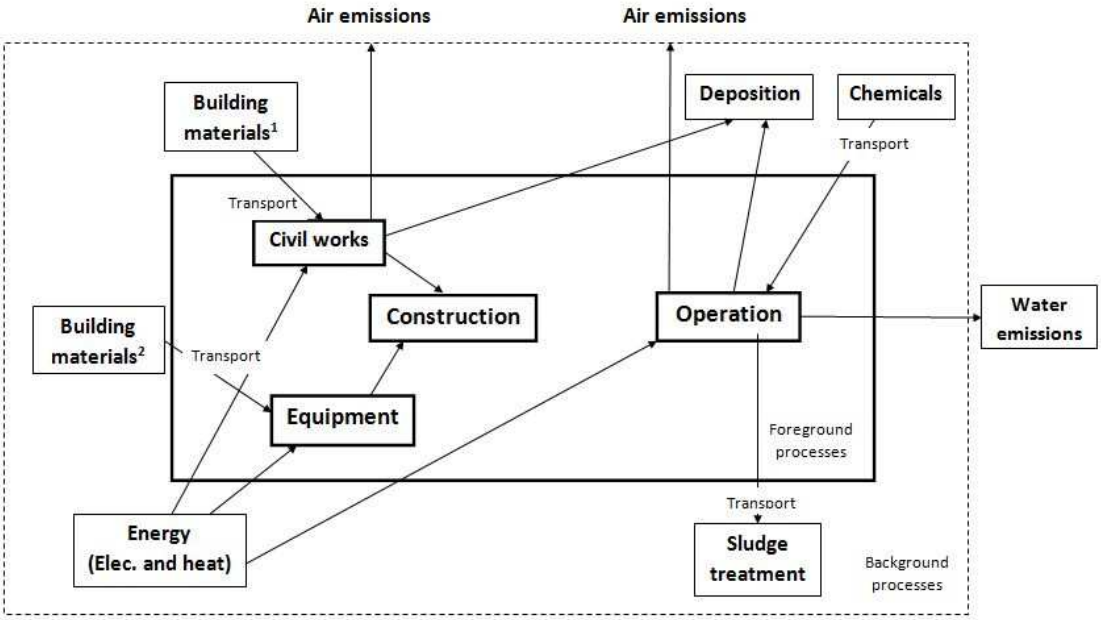

Figura 2: Límits del sistema d'estudi de l'ACV. Font: Pròpia

4.4. Qualitat de dades i simplificacions

Totes les dades que fan referència a la fase de construcció de la planta provenen del document de projecte d'obra civil de l'ampliació que es va fer el 2010 facilitat des de la mateixa planta. No obstant això, l'edifici de pretractament i deshidratació no estava inclòs en aquest document ja que es va construir abans, per tant, es va mesurar in situ i es van fer els càlculs corresponents de materials usats i es van fer aproximacions pel que fa algun element de dins de l'edifici.

Pel que fa a la fase d'operació, les dades de cabals d'entrada i sortida de planta tant de l'aigua, com de consum de reactius, volum de fangs, sorres i fins i qualitat de l'aigua emesa al medi es van obtenir dels informes anuals de l'any 2014. Pel consum d'energia es va fer una aproximació a partir de les lectures hores de funcionament de cada equip que forma la planta (rotors, vehiculadors, bufadors, tamissos, drenatges, purga, centrífugues...) i es va multiplicar per la potència de cada un d'ells, ja que no es disposava del consum per separat de cada equip. A la Figura 3 es pot observar com s'han processat les dades per realitzar l'inventari i posteriroment fer l'anàlisi amb el software.

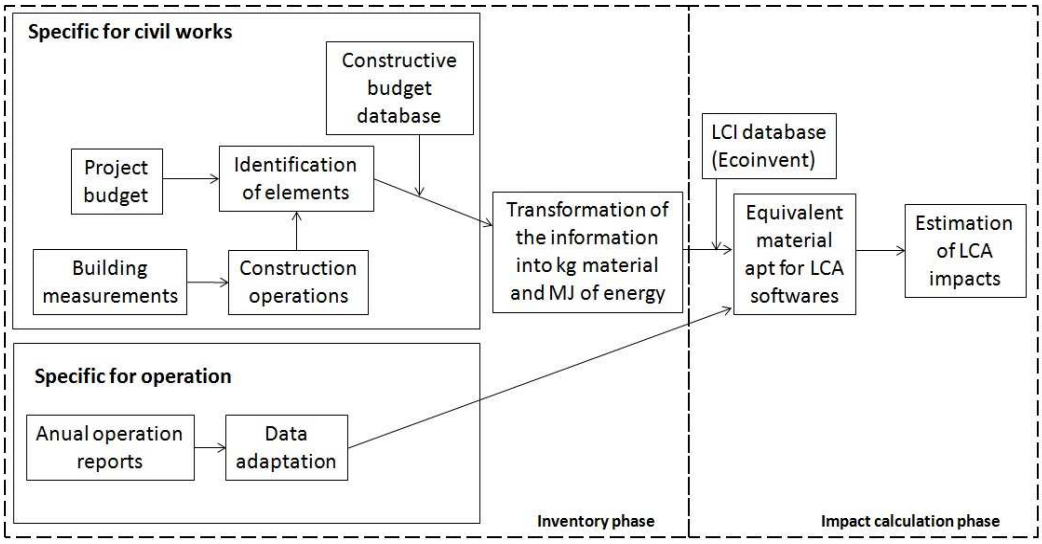

Figura 3: Esquema del procediment d'obtenció de les dades per a l'inventari.

Per altra banda, el polielectrolit utilitzat a la planta no és present a la base de dades del software utilitzat en l'anàlisi. A partir de bibliografia i segons Hospido et al., 2004 s'utilitzarà el "Acrylontile Sohio" ja que es considera que és una bona opció per aquest tipus d'anàlisi, les emissions de gasos d'efecte hivernacle directes del tractament s'han calculat a partir dels factors facilitats per Foley et al., 2010.

5. Anàlisi de l' inventari

L'anàlisi de l'inventari de cicle de vida és la fase que consisteix en l'obtenció i la recopilació de les dades necessàries per avaluar l' impacte ambiental de la planta.

El sistema s'ha subdividit en 4 processos unitaris, que concretament són: pretractament (1), tractament secundari (2), fangs (3) i altres parts del procés, que inclou l'edifici de serveis i oficines de la planta(4) (Figura 4).

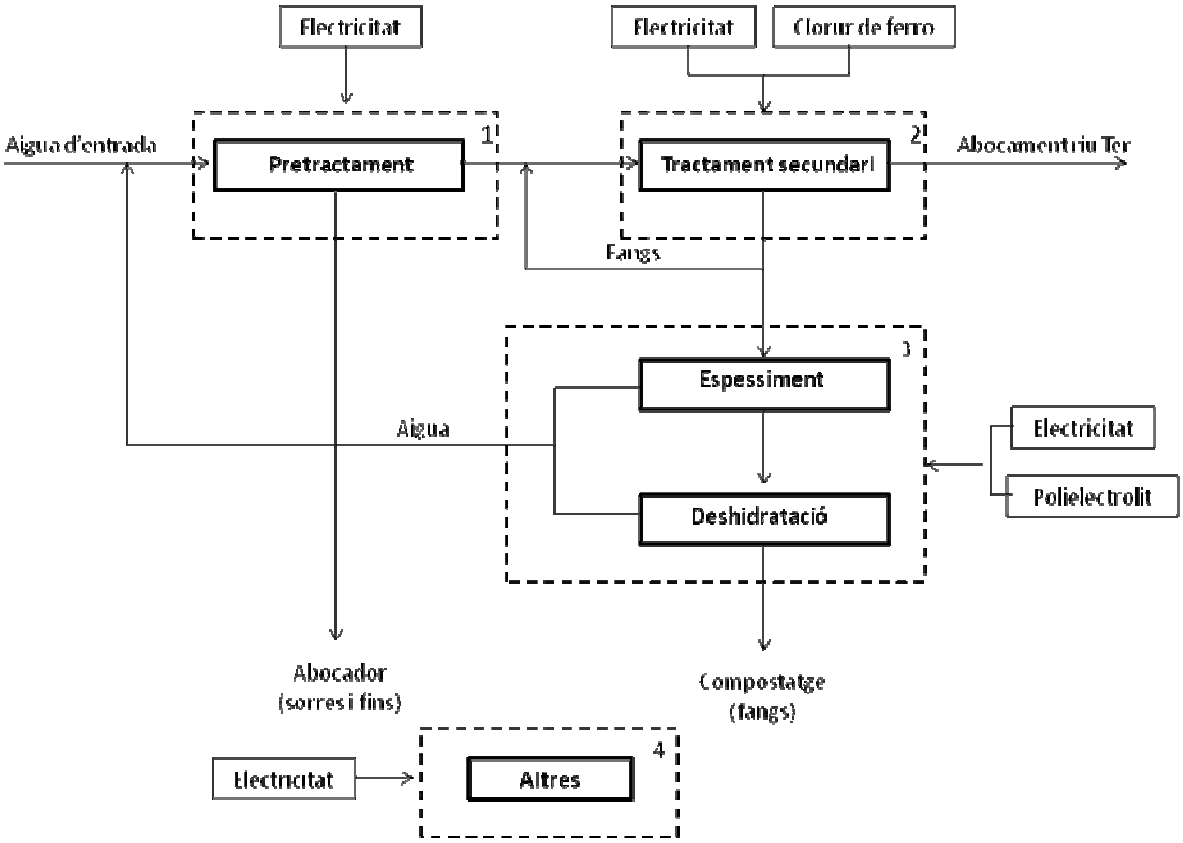

Figura 4: Esquema general dels procesos i productes utilitzats per la depuració de l'aigua a l'EDAR de Manlleu. Font: Pròpia.

5.1. Procés de pretractament

Aquesta és la primera etapa del procés de depuració de l'aigua i consisteix en eliminar les partícules més grolleres presents a l'aigua. L'influent passa pel pou d'extracció de sorres, on s'extreuen els elements de més pes (sorra, grava, còdols, objectes metàl·lics...), després hi ha els tamisos per extreure les partícules més petites i finalment l'aigua passa pel dessorrador-desgreixedor on es destrien sorres i greixos airejant i removent l'aigua amb procediments mecànics perquè els greixos surin i les sorres s'enfonsin, també s'inclou el bombeig d'entrada de la EDAR (Figura 5).

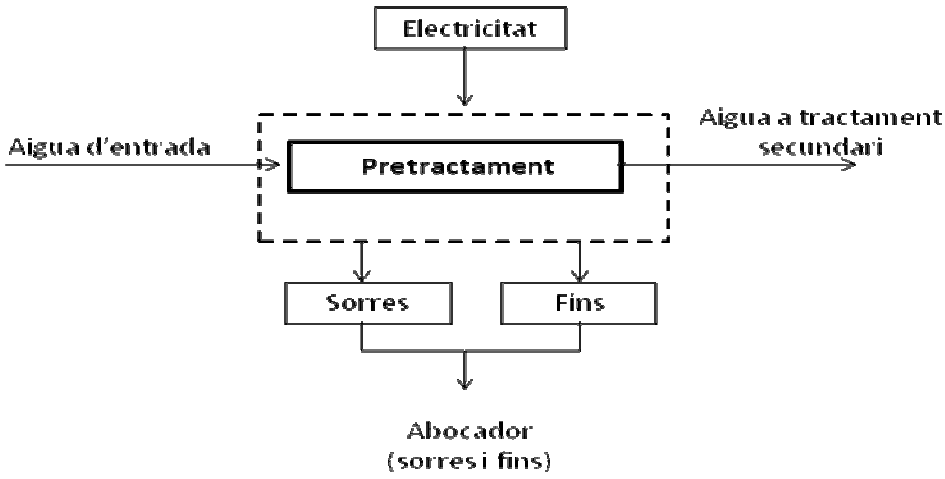

Figura 5: Esquema detallat de l'etapa del pretractament. Font: Pròpia.

Els consums d'electricitat s'han determinat a partir de les dades anuals de l'any 2014, com també els residus generats (sorres i fins), també s'ha tingut en compte el transport associat a ells (Taula 1). El destí de les sorres i fins és l'abocador de Vacarisses (Vallès Occidental) i s'ha considerat una distància aproximada de transport de 74 km.

Taula 1: Consums de productes, residus generats i transport associat en la fase d'operació a l'etapa del pretractament.

Zona	Producte	Quantitat	Unitat
Pretractament	Electricitat	0,1660	kWh/m^3 aigua tractada
	Sorres	0,0040	kg/m^3 aigua tractada
	Fins	0,0037	kg/m^3 aigua tractada
	Transport	0,0006	tkm/m^3 aigua tractada

A continuació també es mostren els consums de materials més importants durant la construcció (Taula 2), on no es mostren el consum global de tots els materials ni recursos de la fase de construcció ja que són molt extensos (però si es poden trobar a la Taula 1 de l'annex).

Taula 2: Consums de materials en la fase de construcció de la planta.

Zona	Producte	Quantitat	Unitat
Pretractament	Grava	$1{,}37 \cdot 10^6$	kg
	Formigó	$6{,}59 \cdot 10^5$	kg
	Dièsel (màquina construcció)	$2{,}01 \cdot 10^5$	MJ

5.2. Procés de tractament secundari

Les EDARs més grans presenten un tractament primari just després del pretractament i abans del tractament secundari, però aquest no és el cas de Manlleu, ja que directament es passa al tractament secundari (Figura 6).

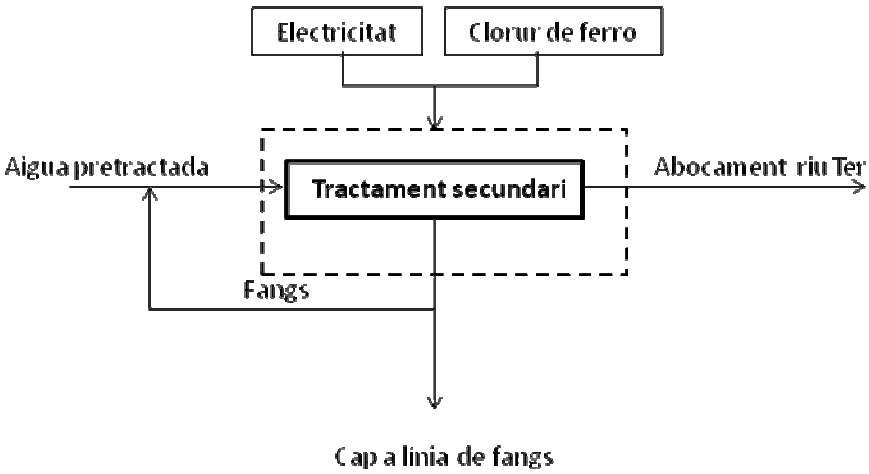

Figura 6: Esquema detallat de l'etapa del tractament secundari. Font: Pròpia.

El tractament biològic és l'etapa on es degrada la matèria orgànica present a l'aigua, mitjançant grups de microorganismes que digereixen aquesta matèria orgànica i produeixen CO_2, en medi aeròbic. Aquesta etapa es realitza als reactors biològics (també anomenats tancs d'aireació). En aquest mateix tractament biològic, el nitrogen amoniacal es converteix a nitrogen gas. Microorganismes aerobis, entre ells rotífers, nematodes, pseudomones, Aerobàcter, zooglea i molts altres (Gerardi, 2006), digereixen els sòlids en suspensió més petits que no han estats eliminats en el pretractament perquè eren massa petits (Dukes, 2008). Seguidament, en els decantadors secundaris es deixa reposar l'aigua perquè es formin flòculs (fangs) i sedimentin al fons del decantador), dels quals una part són recirculats i una altra part són enviats a la línia de fangs, mentre que l'aigua tractada sobreeixeix superficialment per les vores i s'aboca al riu Ter.

Abans que l'aigua entri al reactor biològic, s'hi addiciona clorur fèrric per reduir la concentració de fosfats en l'aigua; aquests fosfats poden provenir de sabons , xampú , i molts altres productes per a la llar que s'utilitzen diàriament. El clorur fèrric reacciona amb els fosfats presents en l'aigua per formar un fosfat fèrric (Equació 1, California Water Technologies 2004).

$$Fe^{3+} + H_nPO_4^{3-n} \leftrightarrows FePO_4 + nH^+ \qquad \text{(Equació 1)}$$

El clorur fèrric actua com a coagulant i floculant, el que significa que sedimenta fosfat fèrric i altres compostos de sulfur, així com altres sòlids en suspensió i microorganismes que digereixen els sòlids en suspensió (American Chemistry Council 2003), per tal de facilitar la separació dels fangs de l'aigua depurada.

S'han inclòs a l' inventari el consum elèctric, el de clorur fèrric, les emissions de diferents substàncies presents a l'aigua abocada al riu, emissions de gasos d'efecte hivernacle i el transport associat a la compra del clorur fèrric que prové de Flix i s'ha considerat una distància aproximada de 216 km (Taula 3). També s'adjunten els materials més usats en la construcció (Taula 5, per l'inventari complet veure taula 2 de l'annex).

Taula 3: Consums de productes, residus generats i transport associat en l'etapa del tractament secundari.

Zona	Producte	Quantitat	Unitat
Secundari	Electricitat	0,4325	kWh/m^3 aigua tractada
	Clorur fèrric	0,0340	kg/m^3 aigua tractada
	SS	0,0036	kg/m^3 aigua tractada
	DQO	0,0248	kg/m^3 aigua tractada
	DBO_5	0,0020	kg/m^3 aigua tractada
	NTK	0,0028	kg/m^3 aigua tractada
	NH4	0,0015	kg/m^3 aigua tractada
	NO_3^-	0,0053	kg/m^3 aigua tractada
	NO_2^-	0,0001	kg/m^3 aigua tractada
	N-TOTAL	0,0082	kg/m^3 aigua tractada
	P-TOTAL	0,0007	kg/m^3 aigua tractada
	GHG (N_2O)	$1{,}531 \cdot 10^{-7}$	kg/m^3 aigua tractada
	GHG (CH_4)	0,0006	kg/m^3 aigua tractada
	GHG (N_2O)	0,0001	kg/m^3 aigua tractada
	Transport	0,0073	tkm/m^3 aigua tractada

Per calcular l'emissió de gasos d'efecte hivernacle (N_2O i CH_4) s'han utilitzat factors de conversió proposats per Foley et al., 2010 que es poden veure a la Taula 4 extreta del mateix article.

Taula 4: Factors de conversió per el càlcul de l'emissió de gasos d'efecte hivernacle (N_2O i CH_4) . Font: Foley et al., 2010.

Table 4 – Summary of design parameters for GHG emissions and biosolids land application.

Parameter	Units	Low-range value	Mid-range value	High-range value	Reference
CH_4 from PSTs	kg CH_4 per kg COD removed	0	0.0125	0.025	(IPCC, 2006a; Table 6.3)
N_2O from secondary treatment	kg N_2O–N per kg N denitrified	0.0003	0.01	0.03	(Foley et al., 2008)
CH_4 from effluent discharge to estuary	kg CH_4 per kg COD discharged	0	0.025	0.05	(IPCC, 2006a; Table 6.3)
N_2O from effluent discharge to estuary	kg N_2O–N per kg N discharged	0.0005	0.0025	0.005	(IPCC, 1997; Tables 4–23; 2006b; Table 11.3)
CH_4 from biogas combustion	g CH_4 per Nm^3 biogas	–	16.02	–	(Doka, 2003)
N_2O from biogas combustion	g N_2O per Nm^3 biogas	–	0.73	–	(Doka, 2003)
Direct N_2O volatilisation from biosolids and DAP	kg N_2O–N per kg N biosolids	0.003	0.01	0.03	(Doka, 2003; IPCC, 2006b; Table 11.1)

Taula 5: Consums de materials en la fase de construcció de la planta.

Zona	Producte	Quantitat	Unitat
Secundari	Formigó	$1{,}49 \cdot 10^7$	kg
	Grava	$4{,}01 \cdot 10^6$	kg
	Morter de ciment	$7{,}58 \cdot 10^5$	kg

5.3. Procés de línia de fangs

Els fangs extrets del decantador secundari són excessivament líquids, per tant, s'han de concentrar (o espesseir), i deshidratar. L'espessiment té lloc en l'espessidor de fangs i es fa per gravetat deixant que les partícules més grolleres sedimentin al fons ,i s'aconsegueixen separar de l'aigua. Tot seguit, s'adhereix un polielectrolit abans d'entrar en el procés de deshidratació per acabar de facilitar que es formin flòculs i facilitar-ne la separació de l'aigua. Finalment, els fangs passen a l'etapa de deshidratació per eliminar l'aigua que encara hi ha present i es fa mitjançant unes centrífugues, s'acaben obtenint els fangs deshidratats que estan apunt per anar a la planta de compostatge per produir adob i en aquesta fase és on acaba la depuració de l'aigua a l'EDAR de Manlleu (Figura 7).

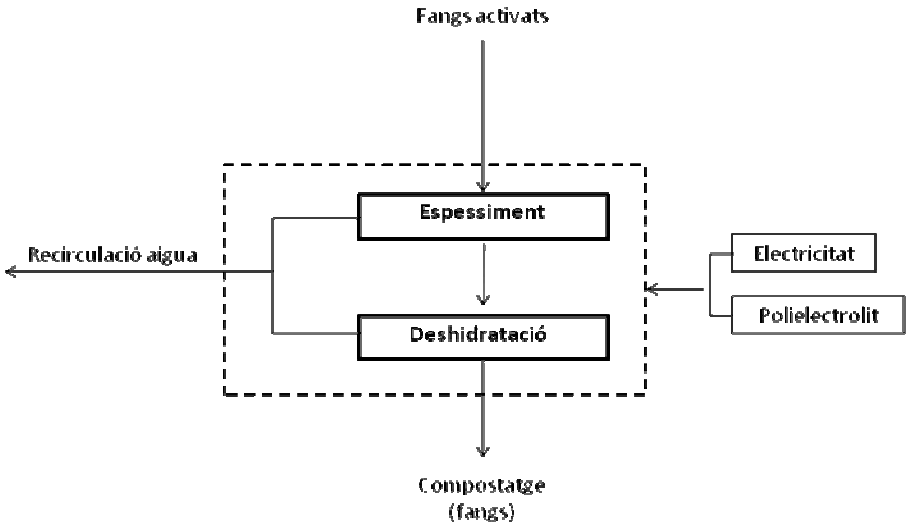

Figura 7: Esquema detallat de l'etapa del tractament dels fangs. Font: Pròpia.

Com en els processos anteriors s'han obtingut les dades dels consums elèctrics, productes químics i fangs produïts de l'informe anual de la planta. A més, s'ha considerat el transport relacionat amb el polielectrolit provinent de Sant Boi de Llobregat i s'ha establert una distància aproximada de 100 km. Com que els fangs es porten a la planta de compostatge Fervosa de Manlleu, la distància aproximada és d'uns 5 km (Taula 6). Tot seguit es mostren els consums de materials més importants consumits durant la construcció (Taula 7, veure Taula 3 de l'annex per l'inventari complet).

Taula 6: Consums de productes, residus generats i transport associat a l'etapa del la línia de fangs de la planta.

Zona	Producte	Quantitat	Unitat
Fangs	Electricitat	0,0406	kWh/m^3 aigua tractada
	Polielectrolit	0,0009	kg/m^3 aigua tractada
	Fangs produïts	1,1117	kg/m^3 aigua tractada
	Transport	0,0068	tkm/m^3 aigua tractada

Taula 7: Consums de materials en la fase de construcció de la planta.

Zona	Producte	Quantitat	Unitat
Fangs	Grava	$2,75 \cdot 10^6$	kg
	Formigó	$1,02 \cdot 10^6$	kg
	Ciment	$4,80 \cdot 10^5$	kg

5.4. Altres parts del procés

Aquest apartat no és un procés en si, sinó que aquí s'inclouen els consums d'electricitat de l'edifici de serveis i oficines de la planta, i per tant, és una manera de diferenciar els consums dels altres processos de la planta (Taula 8). També s'inclouen els materials més significatius per construir l'edifici d'oficines (Taula 9, veure Taula 4 de l'annex per l'inventari complet).

Taula 8: Consum d'electricitat a l'edifici de serveis de la planta.

Zona	Producte	Quantitat	Unitat
Altres	Electricitat	0,0016	kWh/m^3 aigua tractada

Taula 9: Consums de materials en la fase de construcció de la planta.

Zona	Producte	Quantitat	Unitat
Altres	Grava	$1,39 \cdot 10^7$	kg
	Dièsel (màquina construcció)	$1,89 \cdot 10^6$	MJ
	Formigó	$1,91 \cdot 10^5$	kg

6. Avaluació de l'impacte

La fase d'avaluació de l'impacte està enfocada a l'avaluació de la significació dels impactes ambientals potencials del procés de depuració de les aigües a partir dels resultats de l'anàlisi de l'inventari.

Com ja s'ha dit anteriorment el software emprat per processar i gestionar la base de dades creada durant la fase de l'inventari ha estat el SimaPro®, en la versió 8.0.3. El mètode de càlcul emprat ha estat el ReCiPe v.1.09 i les categories d'impacte analitzades han estat les següents: *Climate Change (CC)*, *Ozone Depletion (OD)*, Freshwater *Eutrophication (FE)*, *Marine Eutrophication (ME)*, *Human Toxicity (HT)*, *Metal Depletion (MD)* i *Fossil Depletion (FD)*. Els resultats de l'ACV estan presentats pel volum d'aigua tractada durant 20 anys.

A la secció dels resultats s'han obtingut dos gràfics, el primer (Figura 8) representa els impactes de la fase d'operació més la construcció dividits per cada una de les etapes de depuració de l'aigua i el segon (Figura 9) representa els impactes diferenciats entre la fase d'operació de la planta enfront de la construcció. També s'han adjuntat els impactes totals per cada categoria d'impacte (Taula 10).

El que es pot observar al primer gràfic és que el "Tractament secundari" és el subprocés amb un impacte més significatiu en totes les categories d'impacte estudiades, això és degut a que és la fase amb un major consum d'energia (aeració) i també d'ús de productes químics (clorur de ferro) i de material constructiu, principalment formigó i acer. La "Línia de fangs" és la segona amb més impacte en les categories *Climate Change, Marine Eutrophication i Metal Depletion* degut a que també hi ha un consum d'energia força elevat, s'envien compostos nitrogenats al medi i s'utilitza una gran quantitat de materials per construir el digestor mentre que el "Pretractament" és la segona amb més impacte en les categories: *Ozone Depletion, Freshwater Eutrophication, Human Toxicity i Fossil Depletion*. Finalment, l'etapa amb menor impacte és la d'"Altres" ja que engloba l'edifici d'oficines i consumeix una quantitat petita d'electricitat comparada amb les altres etapes i no hi ha consum de productes químics amb tan d'impacte com el clorur de ferro i el polielectrolit utilitzat en el "Tractament secundari" i la "Línia de fangs", respectivament.

Si ens fixem en les diferents categories d'impacte, veiem que a "Freshwater eutrophication" i "Marine eutrophication" el tractament secundari representa més d'un 96% dels impactes totals d'aquestes categories, degut a que és en aquesta fase on es comptabilitzen les emissions de compostos nitrogenats, fosfats i matèria orgànica (mesurada en DQO), la resta d'etapes de la depuració de les aigües tenen un impacte quasi insignificant en aquestes dues categories. Les categories on el tractament secundari també té un impacte important són: "Metal depletion" (81%) degut a l'elevat consum de metalls que s'utilitzen en la construcció dels reactors biològics i decantadors, "Human toxicity" (77%) per l''ús de productes químics i "Ozone depletion" (72%).

Pel que fa al segon gràfic es pot veure com la fase d'operació és la que té els impactes més significatius en totes les categories analitzades menys la de "Metal depletion" en que té més impacte la fase de construcció degut a que s'utilitzen molts metalls en la fase de construcció de la planta, com per exemple l'acer per armar el formigó.

Per categories, en les de "Freshwater eutrophication" i "Marine eutrophication", la fase d'operació representa quasi tot l'impacte, 96 i 99% respectivament perquè és en aquesta fase és quan s'aboquen el fòsfor i nitrogen que no han pogut ser eliminats durant la depuració i que són els que provoquen l'eutrofització de les aigües. Seguidament trobem "Ozone depletion" i "Climate change" en les que la fase d'operació també té un impacte molt gran, 89% i 83% respectivament, degut a que és en aquesta fase on s'utilitza més energia que contribueix a les emissions de CO_2 i també la utilització dels productes químics que tenen una contribució molt gran en la destrucció de la capa d'ozó. A la categoria de "Fossil depletion" la fase d'operació representa un 78% i a la de "Human toxicity" un 72%, degut al consum d'electricitat i productes químics, en aquestes dues categories la fase de construcció ja té un pes de més del 20% degut a que també s'utilitzen molts combustibles fòssils a l'hora de la construcció per fer funcionar la maquinària i també es fan servir molts metalls, la producció dels quals té un impacte elevat a la categoria d'impacte de toxicitat humana. Finalment, com ja s'ha dit anteriorment en la categoria "Metal depletion" la fase de construcció representa un 77% dels impactes per tots els metalls que s'utilitzen per construir la planta depuradora d'aigües.

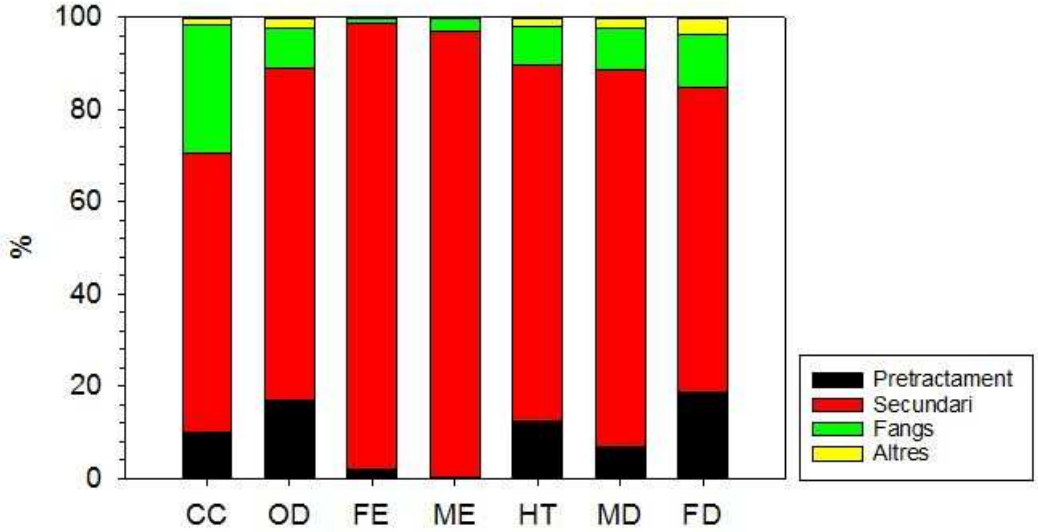

Figura 8: Gràfic de les categories d'impacte analitzades amb la contribució de cada procés sumant la fase de construcció amb la d'operació.

CC: Climate Change; OD: Ozone depletion; FE: Freshwater eutrophication; ME: Marine eutrophication; HT: Human Toxicity; MD: Metal Depletion; FD: Fossil depletion.

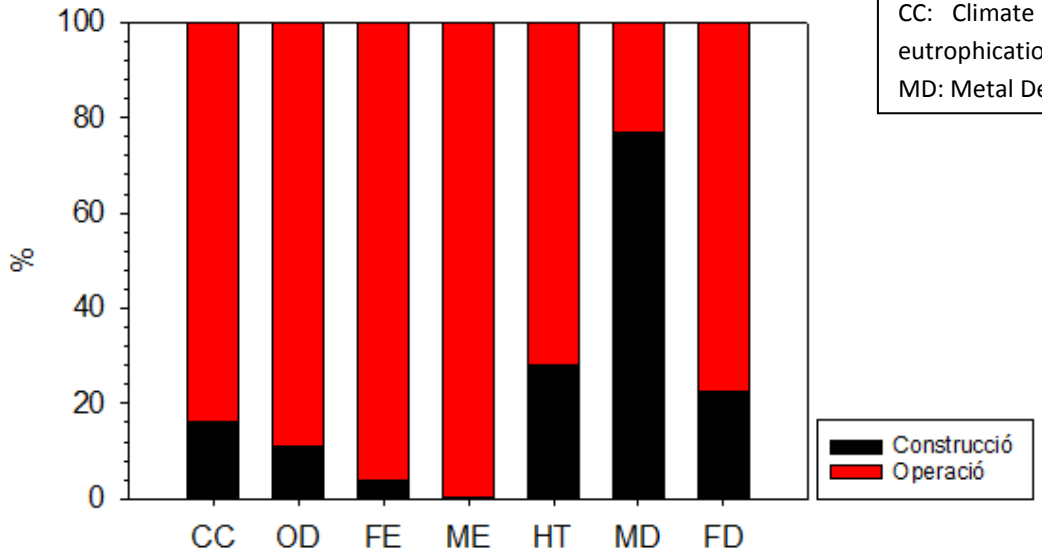

Figura 9: Gràfic de les categories d'impacte analitzades amb la contribució de cada fase sense distingir els diferents processos.

Taula 10: Emissions de contaminants per cada categoria d'impacte estudiada i segons la seva unitat equivalent.

Categoria d'impacte	Unitat	Etapa				Fase		Total
		Pretractament	Secundari	Fangs	Altres	Construcció	Operació	
Climate Change	kg CO2 eq.	$4,23 \cdot 10^{6}$	$2,57 \cdot 10^{7}$	$1,19 \cdot 10^{7}$	$6,99 \cdot 10^{5}$	$6,93 \cdot 10^{6}$	$3,56 \cdot 10^{7}$	$4,25 \cdot 10^{7}$
Ozone Depletion	kg CFC-11 eq.	$5,20 \cdot 10^{-1}$	2,23	$2,7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-1}$	2,76	3,10
Freshwater Eutrophication	kg P eq.	$7,84 \cdot 10^{2}$	$3,97 \cdot 10^{4}$	$4,73 \cdot 10^{2}$	$1,11 \cdot 10^{2}$	$1,55 \cdot 10^{3}$	$3,96 \cdot 10^{4}$	$4,11 \cdot 10^{4}$
Marine Eutrophication	kg N eq.	$6,89 \cdot 10^{2}$	$3,37 \cdot 10^{5}$	$9,87 \cdot 10^{3}$	$2,24 \cdot 10^{2}$	$1,35 \cdot 10^{3}$	$3,47 \cdot 10^{5}$	$3,48 \cdot 10^{5}$
Human Toxicity	kg 1,4-DB eq.	$7,61 \cdot 10^{5}$	$4,75 \cdot 10^{6}$	$4,95 \cdot 10^{5}$	$1,28 \cdot 10^{5}$	$1,73 \cdot 10^{6}$	$4,41 \cdot 10^{6}$	$6,14 \cdot 10^{6}$
Metal Depletion	kg Fe eq.	$2,14 \cdot 10^{5}$	$2,57 \cdot 10^{6}$	$2,75 \cdot 10^{5}$	$7,76 \cdot 10^{4}$	$2,41 \cdot 10^{6}$	$7,25 \cdot 10^{5}$	$3,14 \cdot 10^{6}$
Fossil Depletion	kg oil eq.	$1,28 \cdot 10^{6}$	$4,53 \cdot 10^{6}$	$8,05 \cdot 10^{5}$	$2,43 \cdot 10^{5}$	$1,53 \cdot 10^{6}$	$5,33 \cdot 10^{6}$	$6,86 \cdot 10^{6}$

7. Interpretació de l'ACV

Per poder comparar aquest estudi amb d'altres similars implica que s'haurien d'utilitzar els mateixos límits del sistema, l'anàlisi del mateixos indicadors o paràmetres i la mateixa metodologia d'impactes.

Existeixen molts factors que influeixen en els resultats obtinguts, com poden ser la qualitat de les dades de l'inventari de que es disposa, les tecnologies que s'utilitzen a la planta, els productes químics utilitzats i també les propietats fisicoquímiques de l'aigua que s'hagi de depurar. Per tant, resulta quasi bé impossible trobar un treball idèntic a la bibliografia per poder comparar els resultats, així s'utilitzaran estudis el més similars possibles al que s'ha realitzat per poder treure bones conclusions.

La selecció de la unitat funcional de l'ACV és un aspecte clau pels resultats que acabaran sortint d'aquell estudi, però en el cas de l'estudi de Renou et al., 2007, on la unitat funcional és el volum d'aigua tractada a la planta durant un any, obté resultats similars als d'aquest estudi pel que fa als impactes de la construcció i l'operació, on les categories "Eutrophication", i "Greenhouse Effect" representen un 1% i 11% respectivament, essent la fase de construcció la que presenta menys impacte sobre el medi. Per contra, la fase d'operació és la que més impacte té al llarg de la vida útil d'una depuradora, degut sobretot a l'elevat ús d'energia, consum de productes químics i emissió de substàncies nocives al medi.

Els impactes més significatius durant la fase de construcció de la planta són l'ús de materials habituals d'obres civils, tals com el formigó, l'acer, plàstics...tots ells contribueixen en l'impacte de les categories "Metal Depletion" ja que es fan servir matèries primeres per la seva construcció i la seva producció també implica un elevat consum d'energia que contribueix a la categoria de "Climate Change" i "Fossil Depletion". L'emissió de residus sòlids prové majoritàriament de l'excavació prèvia a la construcció de la planta i una manera de reduir el seu impacte es reutilitzant-lo en el farciment a la fase de desmantellament de la planta.

Per reduir l'impacte ambiental de la planta cal centrar els esforços en millorar el tractament secundari i minimitzar el consum d'energia, ja que és el subprocés amb més impacte. A l'hora de construir la planta si es pogués reduir la quantitat d'acer i de ciment, es reduiria l'impacte de la fase de construcció, es pot utilitzar un material similar que causi menys impacte, o per exemple, intentar utilitzar menys ciment i emplenar amb runes procedents de la mateixa planta i així també es redueixen els residus produïts.

8. Conclusions

The most important conclusions of this life cycle assessment study are shown below:

I. 20 years of operation of the WWTP under study contributes much more to the overall environmental impacts than the construction phase of the plant (more or less 15-20% of the impacts are for the construction phase and 75-80% for the operation phase).

II. The secondary/biological treatment is the stage of the wastewater treatment process that has more impact on all the impact categories studied in this study, due to the electricity and chemicals used and the emissions related to it (water discharge, and greenhouse gases). Therefore the main actions to reduce the global impact of a WWTP should be focused in the secondary treatment.

III. The electricity consumption used in the plant is the highest impact on the environment.

IV. The impacts from the construction phase mainly came from steel, concrete, cement and gravel. There are also impacts from civil works earthworks and its associated transport to a disposal plant.

V. Even though, it is difficult to compare the results with other studies because of the different existing options of applying the LCA methodology (definition of the functional unit and the system boundaries, the selection of the impact assessment methodology…). Clear instructions should be written to apply a LCA methodology in the WWTP.

VI. Some specific proposals to diminish environmental impact of the studied WWTP would be reduce the use of steel and cement because they have important environmental impacts, or replace some cement for ruins of other parts of the plant for the construction phase, while for the operational phase, efforts should be focused in the energy savings and replace of more problematic chemicals.

Referències

Agència Catalana de l'Aigua. Fitxes estacions de depuració d'aigües residuals: Manlleu. Generalitat de Catalunya, 2015. Consulta: 10 d'abril de 2015. Disponible: http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/depuradores_servei/dman_edar_manlleu.pdf

American Chemistry Council. "Chlorine Chemistry Division: Ferric Chloride: Clearing the STUFF Out of Water". The American Chemistry Council. N.p., setembre 2003. Consulta: 10 juny 2015. Disponible:http://www.americanchemistry.com/s_chlorine/science_sec.asp?CID=1258&DID=4738&CTYPEID=113

Antón Vallejo, M. A., 2004. Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. (Tesis doctoral inédita) Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.

California Water Technologies. "Phosphorus removal." California Water Technologies. N.p., 2004. Consulta: 10 juny de 2015. Disponible: http://www.californiawatertechnologies.com/pdf/PhosphorousRemovalBulletin.pdf

Corominas, Ll., Foley, J., Guest, J.S., Hospido, A., Larsen, H.F., Morera, S., & Shaw, A., 2013. Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of art. Water research 47, 5480-5492.

DeVries, R. 2011. The use of Ferric Chloride for Phosporus Removal in Wastewater Treatment. Carthage College, Kenosha, WI, USA. Consulta: 13 de juny de 2015. Disponible: https://dspace.carthage.edu/bitstream/handle/123456789/327/Ferric%20Chloride%20in%20Wastewater%20Treatment.pdf?sequence=1

Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (DOUE nº 135, de 30 de mayo de 1991).

Dukes, Scott. "Overview of Basic Wastewater Treatment Process." Office of Regulatory Staff. N.p., 2008. Consulta: 10 juny de 2015. Disponible: http://www.regulatorystaff.sc.gov/orscontent.asp?pageid=654

EU, 1991. Directive 91/271/CEE of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment. Off. J. Eur. Commun. L 135.

Foley, J., de Haas, D., Hartley, K., & Lant, P. 2010. Comprehensive life cycle inventories of alternative wastewater treatment systems. Water Research, 44(5), 1654-1666

Gerardi, Michael H.. *Wastewater Bacteria*. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience, 2006.

Hospido, A., Moreira, M. T., Fernandez-Couto, M., & Feijoo, G. 2004. Environmental Performance of a Municipal Wastewater Treatment Plant. The International Journal of Life Cycle Assesment, 9 (4), 261-271.

ISO 14040. Environmental Management - Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Geneva, Switzerland: International Standards Organisation; 1997.

ISO 14041. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Goal and scope definition and inventory analysis. Geneva, Switzerland: International Standards Organisation; 1998.

ISO 14042. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment. Geneva, Switzerland: International Standards Organisation; 2000.

ISO 14043. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation. Geneva, Switzerland: International Standards Organisation; 2000.

ISO 14044. Environmental Management - Life Cycle Assessment – Requirements and framework. Geneva,Switzerland.: International Standards Organisation; 2006.

Lamana, N. R., & Aja, A. H. 2010. Análisis del ciclo de vida. Lámina 1. Correcciones en el ciclo de vida.

Machado, A. P., Urbano, L., Brito, A. G., Janknecht, P., Salas, J. J., & Nogueira, R. 2007. Life cycle assessment of watewater treatment options for small and decentralized communities. Water Science & Technology Vol 56 No 3, 15-22.

Real Decreto-Ley 11/1995 de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas (BOE nº 312, de 30 de diciembre de 1995).

Renou, S., Thomas, J. S., Aoustin, E., & Pons, M. N. 2007. Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. Journal of Cleaner Production 16, 1098-1105.

RIVM, CML, PRé Consultants, & Radboud Universiteit Nijmegen. ReCiPe methodology for Life Cycle Impact Assessment. Consulta: 10 d'abril de 2015. Disponible: http://www.lcia-recipe.net/

Annexos

Taula 1: Consums de materials/recursos i residus produïts en la fase de construcció de l'etapa del pretractament

Pretractament		
Material	**Quantitat**	**Unitat**
Residu inert	$7,65 \cdot 10^{6}$	kg
Grava	$1,37 \cdot 10^{6}$	kg
Formigó	$6,59 \cdot 10^{5}$	kg
Residu formigó armat	$3,83 \cdot 10^{5}$	kg
Dièsel (màquina construcció)	$2,01 \cdot 10^{5}$	MJ
Transport	$1,26 \cdot 10^{5}$	tkm
Bloc de formigó	$9,02 \cdot 10^{4}$	kg
Morter de calç	$3,86 \cdot 10^{4}$	kg
Acer de reforç	$2,75 \cdot 10^{4}$	kg
Maó	$1,57 \cdot 10^{4}$	kg
Acer (baix aliatge)	$1,17 \cdot 10^{4}$	kg
Morter de ciment	$5,66 \cdot 10^{3}$	kg
Morter adhesiu	$5,06 \cdot 10^{3}$	kg
Capa de zinc	$4,56 \cdot 10^{2}$	m2
Filferro	$3,92 \cdot 10^{2}$	kg
Dièsel (generador)	$3,33 \cdot 10^{2}$	MJ
Alumini	$3,24 \cdot 10^{2}$	kg
Polietilè (alta densitat)	$2,53 \cdot 10^{2}$	kg
Acer	$1,78 \cdot 10^{2}$	kg
Acer al crom	$1,47 \cdot 10^{2}$	kg
Vidre	$1,29 \cdot 10^{2}$	kg
Fusta	$8,91 \cdot 10^{1}$	kg
Cautxú sintètic	$8,12 \cdot 10^{1}$	kg
Pintura	$7,89 \cdot 10^{1}$	kg
Dièsel	$3,63 \cdot 10^{1}$	kg
Alumini anoditzat	$1,97 \cdot 10^{1}$	m2
Poliuretà	$1,16 \cdot 10^{1}$	kg
PVC	5,49	kg
Silicona	3,19	kg
Llautó	$4,73 \cdot 10^{-1}$	kg
Acrilat de butil	$3,0810^{-1}$	kg

Taula 2: Consums de materials/recursos i residus produïts en la fase de construcció de l'etapa del tractament secundari.

Secundari		
Material	**Quantitat**	**Unitat**
Residu inert	$1{,}81 \cdot 10^{7}$	kg
Formigó	$1{,}49 \cdot 10^{7}$	kg
Grava	$4{,}01 \cdot 10^{6}$	kg
Residu formigó armat	$7{,}67 \cdot 10^{5}$	kg
Morter de ciment	$7{,}58 \cdot 10^{5}$	kg
Dièsel (màquina construcció)	$6{,}66 \cdot 10^{5}$	MJ
Acer de reforç	$5{,}14 \cdot 10^{5}$	kg
Transport	$3{,}49 \cdot 10^{5}$	tkm
Acer (baix aliatge)	$1{,}77 \cdot 10^{5}$	kg
Dièsel (generador)	$1{,}08 \cdot 10^{4}$	MJ
Filferro	$7{,}34 \cdot 10^{3}$	kg
Acer	$3{,}43 \cdot 10^{3}$	kg
Cautxú sintètic	$3{,}19 \cdot 10^{3}$	kg
Aglomerat	$2{,}79 \cdot 10^{3}$	kg
Fusta	$2{,}10 \cdot 10^{3}$	kg
Capa de zinc	$1{,}37 \cdot 10^{3}$	m2
Asfalt fos	$8{,}53 \cdot 10^{2}$	kg
Dièsel	$6{,}27 \cdot 10^{2}$	kg
Polietilè (alta densitat)	$5{,}08 \cdot 10^{2}$	kg
Acer al crom	$3{,}65 \cdot 10^{2}$	kg
PVC	$8{,}44 \cdot 10^{1}$	kg

Taula 3: Consums de materials/recursos i residus produïts en la fase de construcció de l'etapa de la línia de fangs.

Fangs		
Material	**Quantitat**	**Unitat**
Residu inert	$1{,}37 \cdot 10^{7}$	kg
Grava	$2{,}75 \cdot 10^{6}$	kg
Formigó	$1{,}02 \cdot 10^{6}$	kg
Residu formigó armat	$7{,}67 \cdot 10^{5}$	kg
Morter de ciment	$4{,}80 \cdot 10^{5}$	kg
Dièsel (màquina construcció)	$3{,}11 \cdot 10^{5}$	MJ
Transport	$2{,}33 \cdot 10^{5}$	tkm
Bloc de formigó	$9{,}02 \cdot 10^{4}$	kg
Acer de reforç	$4{,}48 \cdot 10^{4}$	kg
Morter de calç	$3{,}86 \cdot 10^{4}$	kg
Acer (baix aliatge)	$2{,}34 \cdot 10^{4}$	kg
Maó	$1{,}57 \cdot 10^{4}$	kg
Morter adhesiu	$5{,}06 \cdot 10^{3}$	kg
Capa de zinc	$8{,}26 \cdot 10^{2}$	m2
Filferro	$6{,}41 \cdot 10^{2}$	kg
Polietilè (alta densitat)	$5{,}08 \cdot 10^{2}$	kg
Acer	$3{,}42 \cdot 10^{2}$	kg
Dièsel (generador)	$3{,}42 \cdot 10^{2}$	MJ
Cautxú sintètic	$3{,}37 \cdot 10^{2}$	kg
Alumini	$3{,}24 \cdot 10^{2}$	kg
Fusta	$1{,}88 \cdot 10^{2}$	kg
Acer al crom	$1{,}47 \cdot 10^{2}$	kg
Vidre	$1{,}29 \cdot 10^{2}$	kg
Pintura	$7{,}89 \cdot 10^{1}$	kg
Dièsel	$7{,}39 \cdot 10^{1}$	kg
Aglomerat	$3{,}59 \cdot 10^{1}$	kg
Alumini anoditzat	$1{,}97 \cdot 10^{1}$	m2
Poliuretà	$1{,}16 \cdot 10^{1}$	kg
PVC	$1{,}11 \cdot 10^{1}$	kg
Silicona	3,19	kg
Llautó	$4{,}73 \cdot 10^{-1}$	kg
Acrilat de butil	$3{,}08 \cdot 10^{-1}$	kg

Taula 4: Consums de materials/recursos i residus produïts en la fase de construcció de l'etapa d'altres parts del procés.

Altres		
Material	**Quantitat**	**Unitat**
Residu inert	$1{,}61 \cdot 10^{7}$	kg
Grava	$1{,}39 \cdot 10^{7}$	kg
Dièsel (màquina construcció)	$1{,}89 \cdot 10^{6}$	MJ
Formigó	$1{,}91 \cdot 10^{5}$	kg
Transport	$1{,}69 \cdot 10^{5}$	tkm
Residu formigó armat	$1{,}67 \cdot 10^{5}$	kg
Placa de pedra natural	$6{,}81 \cdot 10^{4}$	kg
Bloc de formigó	$3{,}56 \cdot 10^{4}$	kg
Aigua	$9{,}74 \cdot 10^{3}$	kg
Dièsel (generador)	$4{,}28 \cdot 10^{3}$	MJ
Morter de calç	$3{,}08 \cdot 10^{3}$	kg
Acer al crom	$2{,}16 \cdot 10^{3}$	kg
Acer	$1{,}25 \cdot 10^{3}$	kg
Coberta de guix	$7{,}03 \cdot 10^{2}$	kg
Morter de ciment	$4{,}87 \cdot 10^{2}$	kg
Acer (baix aliatge)	$2{,}38 \cdot 10^{2}$	kg
Aglomerat	$1{,}59 \cdot 10^{2}$	kg
Fusta	$1{,}51 \cdot 10^{2}$	kg
Pintura alquídica	$4{,}62 \cdot 10^{1}$	kg
Llautó	2,68	kg
Resina	$8{,}93 \cdot 10^{-1}$	kg
Peces d'estany	$6{,}74 \cdot 10^{-1}$	kg