Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE O TESINA D'ESPECIALITAT

Títol

Anàlisi del Cicle de Vida de l'EDAR del Baix Llobregat

Autor/a

Lola Bravo Hidalgo

Tutor/a

Ivet Ferrer i Martí

Departament

Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental (DEHMA)

Intensificació

Enginyeria Sanitària i Ambiental

Data

3 de juny 2009

ÍNDEX

RESUM / ABSTRACT 5

1 INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS 7

1.1 INTRODUCCIÓ 7

1.2 OBJECTIUS 8

2 REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA 9

2.1 TRACTAMENT DE LES AIGÜES RESIDUALS 9

2.1.1 Introducció 9

2.1.2 Línia de l'aigua 10

2.1.2.1 Introducció 10
2.1.2.2 Pretractament 10
2.1.2.3 Tractament primari 11
2.1.2.4 Tractament secundari 11
2.1.2.5 Tractament terciari 12

2.1.3 Línia de fangs 12

2.1.3.1 Introducció 12
2.1.3.2 Espessiment 12
2.1.3.3 Estabilització 13
2.1.3.4 Condicionament 13
2.1.3.5 Deshidratació 13
2.1.3.6 Disposició final 13

2.1.4 Consum d'energia a les EDARs 14

2.2 LA DIGESTIÓ ANAERÒBIA 14

2.2.1 Introducció 14

2.2.2 Les fases de la digestió anaeròbia 15

2.2.2.1 Etapa hidrolítica-acidogènica 16
2.2.2.2 Etapa acetogènica 16
2.2.2.3 Etapa metanogènica 17

2.2.3 Paràmetres ambientals i operacionals del procés 17

2.2.3.1 Temperatura 18
2.2.3.2 Temps de residència hidràulic (TRH) 18
2.2.3.3 Velocitat de càrrega orgànica 18
2.2.3.4 pH 18
2.2.3.5 Nutrients i tòxics 19
2.2.3.6 Potencial Redox 19

2.2.4 Configuracions del sistema 19

2.2.5 Consideracions energètiques 20

2.2.5.1 Producció i aprofitament del biogàs 20

2.3 FONAMENTS DE L'ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA 21
2.3.1 Introducció 21
2.3.2 Normativa 21
2.3.3 Metodologia 22
2.3.3.1 La fase de definició de l'objectiu i de l'abast 23
2.3.3.2 La fase d'anàlisi de l'inventari del cicle de vida (ICV) 23
2.3.3.3 La fase d'avaluació de l'impacte ambiental del cicle de vida (AICV) 23
2.3.3.4 La fase d'interpretació del cicle de vida 25
2.3.4 Importància de la localització 25
2.3.4.1 Bases de dades 25
2.3.4.2 Metodologia per l'avaluació de l'impacte ambiental 26
2.4 ESTAT DE L'ART EN L'APLICACIÓ DE L'ACV AL TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS I DE FANGS 28

3 INFORME DE L'ACV DE L'EDAR DEL BAIX LLOBREGAT 33
3.1 DEFINICIÓ DE L'OBJECTIU I DE L'ABAST 33
3.1.1 Aspectes generals 33
3.1.2 Objectiu de l'ACV 33
3.1.2.1 Objectiu 33
3.1.2.2 Raons per fer l'estudi 33
3.1.2.3 Aplicacions i públic previst 33
3.1.3 Abast de l'ACV 34
3.1.3.1 Descripció del sistema a estudiar i funció 34
3.1.3.2 Unitat funcional 38
3.1.3.3 Límits del sistema 38
3.1.3.4 Procediments d'assignació 39
3.1.3.5 Categories d'impacte 41
3.1.3.6 Fonts de dades i requisits de qualitat de les dades 43
3.1.3.7 Limitacions 44
3.1.3.8 Tipus de revisió crítica 44
3.1.3.9 Tipus i format de l'informe 44
3.2 ANÀLISI DE L'INVENTARI DEL CICLE DE VIDA (ICV) 44
3.2.1 Recopilació de dades 44
3.2.1.1 Dades de l'EDAR del Baix Llobregat. 45
3.2.2 Càlcul de les dades 45
3.2.2.1 Validació de les dades recopilades 45
3.2.2.2 Càlcul de les dades que falten 46
3.2.2.3 Conjunt de dades final 55
3.2.2.4 Relació de les dades amb els processos unitaris i la unitat funcional 55
3.2.2.5 Ajust dels límits del sistema 55
3.2.3 Assignació de fluxos i d'emissions i abocaments 58
3.2.4 Resultats de l'ICV 58

3.3 AVALUACIÓ DE L'IMPACTE AMBIENTAL DEL CICLE DE VIDA (AICV) 65
3.3.1 Selecció de categories, indicadors i models 65
3.3.1.1 Esgotament de recursos abiòtics, ERA 65
3.3.1.2 Impactes de l'ús del sòl, US 66
3.3.1.3 Canvi climàtic, CC 67
3.3.1.4 Esgotament de l'ozó estratosfèric, ODI 69
3.3.1.5 Formació d'oxidants fotoquímics, FOF 71
3.3.1.6 Acidificació, Ac 72
3.3.1.7 Eutrofització, Eu 73
3.3.1.8 Toxicitat 74
3.3.1.9 Olor 76
3.3.1.10 Soroll 77
3.3.2 Classificació 77
3.3.3 Caracterització 79
3.3.4 Elements optatius 79
3.3.5 Limitacions de l'AICV 79
3.3.6 Resultats de l'AICV 79
3.4 INTERPRETACIÓ DEL CICLE DE VIDA 81
3.4.1 Identificació dels assumptes significatius 81
3.4.2 Avaluació 83
3.4.3 Conclusions, limitacions i recomanacions 83

4 CONCLUSIONS I RECOMANACIONS 87
4.1 CONCLUSIONS 87
4.1.1 Conclusions de l'ACV de l'EDAR del Baix Llobregat 87
4.1.2 Conclusions respecte la metodologia de l'ACV 87
4.2 RECOMANACIONS 88

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES 89

AGRAÏMENTS 97

ANNEXES 99
ANNEX 1. METODOLOGIA DE L'ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA
ANNEX 2. DADES DE L'EDAR DEL BAIX LLOBREGAT
ANNEX 3. FACTORS DE CARACTERITZACIÓ

RESUM / ABSTRACT

Anàlisi del Cicle de Vida de l'EDAR del Baix Llobregat.

Autor: Lola Bravo Hidalgo

Tutor: Ivet Ferrer i Martí

El tractament de les aigües residuals i dels fangs de depuradora ha esdevingut un tema important a Catalunya sobretot des de la promulgació de la Directiva 91/271/CE sobre el tractament de les aigües residuals urbanes. L'augment de la quantitat de depuradores ha millorat la qualitat de les aigües dels nostres rius i, al mateix temps, ha creat la necessitat de tractar-ne el seu principal residu, els fangs.

El tractament dels fangs, de la mateixa manera que el tractament d'aigües residuals, també genera impactes negatius sobre el medi (consum d'energia, emissió de gasos, ocupació del territori, etc.). Per això cal fer-ne un estudi ambiental complet i rigorós, que tingui en compte la totalitat del cicle de vida de l'activitat i en consideri tots els possibles impactes. L'Anàlisi del Cicle de Vida (ACV) és una metodologia que respon a aquestes demandes, però que encara no és gaire usada a Espanya en comparació amb d'altres països europeus. L'ACV s'estructura en quatre fases: objectiu i abast, inventari, avaluació de l'impacte i interpretació, i ha estat normalitzat per la International Standards Organization (ISO).

Aquesta tesina pretén contribuir en donar resposta a la situació descrita a partir de la realització de l'ACV d'una estació depuradora d'aigües residals (EDAR), concretament l'EDAR del Baix Llobregat (Barcelona). S'estudia globalment la línia de l'aigua (amb fangs activats com a tractament secundari) i detalladament la lína de fangs (amb espessiment, digestió anaeròbia, cogeneració, deshidratació i assecatge tèrmic). El sistema estudiat inclou els impactes derivats de l'operació de la planta (consum d'energia, emissions, ús de reactius, etc.). En canvi, en aquesta primera aproximació no es tenen en compte els impcates derivats de la construcció, manteniment i desmantellament de la planta; la recolecció de les aigües residuals, el tractament de residus diferents als fangs, i la disposció final de les aigües i dels fangs tractats.

L'ACV realitzat pren com a unitat funcional 100 m^3 de fang espessit diaris. D'acord amb les dades disponibles, les categories d'impacte avaluades són: Esgotament de recursos abiòtics, Ús del sòl i Canvi climàtic. Els resultats mostren que el principal causant de l'Esgotament de recursos abiòtics és el gas natural consumit als motors de cogeneració, amb un 80% del total (26,27 kg Sb-eq). L'impacte sobre sobre l'Ús del sòl és de gairebé 28.000 m^2·dia. Pel que fa al Canvi climàtic, l'impacte total (2.865 kg CO_2-eq) es reparteix entre la línia de l'aigua (54%) i la de fangs (46%). De la línea de fangs, els majors impactes són causats per les bombes (8,6%), mentre que l'espessidor de fangs primaris i la cogeneració són els que en generen menys (1,0% i 1,4%, respectivament).

Durant la realització de l'ACV s'ha constatat que la major dificultat pràctica és l'accés a dades reals i fiables. Això fa que aquest ACV no sigui exhaustiu, i per tant fóra recomanable ampliar-lo de cara a treballs futurs. També seria interessant fer una avaluació de l'impacte del cicle de vida amb factors que tinguin en compte la importància de la localització de l'estudi i una normalització dels resultats per valorar-ne la importància relativa. Per altra banda, es podria estudiar l'efecte de modificar la línea de fangs per incrementar la producció de biogàs, així com comparar tractaments alternatius.

ABSTRACT

Life Cycle Assessment of the WWTP of Baix Llobregat.

Author: Lola Bravo

Tutor: Ivet Ferrer

The treatment of wastewater and sewage sludge became an important issue in Catalonia especially as a result of the enactment of EC Directive 91/271 on the treatment of urban wastewater. Due to a relentless increase on the number of wastewater treatment plants in operation, the water quality of rivers was improved, but the necessity of treating sewage sludge was subsequently arised.

Similarly to wastewater treatment, sewage sludge treatment generates negative impacts on the environment (energy consumption, air emissions, occupation of land, etc.). Thus, full and rigorous environmental studies are needed, in order to take into account the entire life cycle of activities and consider all possible impacts. The Life Cycle Assessment (LCA) is an appropriate methodology, which is still scarcely used in Spain compared to other European countries. The LCA is structured into four phases: goal and scope, inventory, impact assessment and interpretation, and has been standardized by the International Standards Organization (ISO).

This dissertation aims to contribute in finding responses to described scenario, by performing an LCA of the wastewater tretament plant (WWTP) of Baix Llobregat (Barcelona). While an overall approach is used for the wastewater treatment line (with activated sludge as secondary treatment), the sludge treatment line (with thickening, anaerobic digestion, cogeneration, dewatering and thermal drying) is studied in detail. The studied system includes environmental impacts caused by the operation of the WWTP (energy consumption, gas emissions, use of reagents, etc.). However, in this first approach impacts associated to the following activities are not accounted for: WWTP construction, maintenance and dismantlement; wastewater recollection; treatment of waste products other than sludge and treated water and sludge final disposal.

The functional unit of this LCA is 100 m^3 of thickened sludge (on a daily basis). According to available data, environmental impact categories evaluated were: Depletion of abiotic resources, Land use and Climate change. The results suggest that the main responsible for Depletion of abiotic resources is natural gas consumed in the cogeneration engine, representing 80% of the total (26.27 kg Sb-eq). The impact on Land use is around 28,000 m^2·day. Regarding Climate change, the total effect (2,865 kg CO_2-eq) is distributed into the wastewater treatment line (54%) and the sludge treatment line (46%). Within the sludge line, pumps are causing the main impact (8.6%), while primary sludge thickeners and cogeneration account for a minor part (1.0% and 1.4% respectively).

In practise, the main difficulty of the LCA is the lack of access to real and truthful data. For this reason, the LCA presented is not yet exhaustive and should be continued in future reseach studies. Besides, it would also be interesting to use factors that take into account the importance of the location of the study, and to normalize the results in order to assess their relative importance. Finally, it might be worth studying the effect of sludge treatment alternatives, especially those focused on increasing biogas production.

1 INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

1.1 INTRODUCCIÓ

En els darrers anys s'han instal·lat arreu del territori català nombroses estacions de depuració d'aigües residuals. De l'any 1995 a l'any 2000 se'n van construir més de 80 i a finals del 2007, a Catalunya hi havia 330 depuradores en servei i 154 en construcció. Aquest afany constructiu fou provocat per la promulgació de la Directiva 91/271/CE sobre el tractament de les aigües residuals urbanes, en què s'exigia el sanejament generalitzat de les aglomeracions urbanes (Baron, 2008).

Gràcies a l'augment de la quantitat de depuradores en funcionament ha millorat de manera notable la qualitat de les aigües dels nostres rius. No obstant això, l'existència de les depuradores genera un nou problema, que és el de la gestió dels fangs que produeixen. D'acord amb les dades disponibles, a Catalunya es van generar l'any 2005 més de 150.000 tones de fangs secs, una xifra prou important per obligar a trobar una sortida sostenible a aquests residus i tancar així el cicle de depuració de les aigües residuals (Corbacho, 2008).

Els fangs de depuradora són problemàtics ambientalment pel seu alt contingut en matèria orgànica, nutrients i patògens, i per això cal tractar-los. El tractament dels fangs de depuradora contribueix a millorar la qualitat ambiental, però també té efectes ambientals negatius com les emissions a l'atmosfera, l'ús de recursos naturals, el consum d'energia i la generació de subproductes. Per això convé fer-ne una avaluació ambiental.

La digestió anaeròbia és un dels mètodes tradicionals per estabilitzar biològicament la matèria orgànica dels fangs. A Catalunya hi ha 25 instal·lacions en servei que compten amb la digestió anaeròbia (Agència Catalana de l'Aigua, 2008a). A més, en la digestió anaeròbia dels fangs es genera biogàs i el seu aprofitament energètic pot afavorir el balanç energètic de la planta. Per tot això, seria interessant estudiar una estació depuradora d'aigües residuals que tingués tractament de fangs basat en la digestió anaeròbia.

Actualment, qualsevol estratègia de gestió ambiental passa per considerar el caràcter global de l'entorn, ja que obviar aquest aspecte implica, en molts casos, el transvasament de les càrregues contaminants o dels seus efectes, però no la seva reducció. Així, per exemple, una instal·lació que es pot considerar "ecològica" com una Estació Depuradora d'Aigües Residuals (EDAR) implica també un impacte ambiental degut al consum d'energia, la utilització de productes químics, l'emissió de determinats gasos a l'atmosfera i la producció de fangs (Hospido *et al.*, 2001).

Davant d'aquesta situació, cal una eina potent, sistemàtica i objectiva, capaç d'avaluar la incidència ambiental dels productes o activitats i que inclogui totes les etapes del seu cicle de vida i tots els seus possibles impactes (Hospido *et al.*, 2001). L'Anàlisi del Cicle de Vida (ACV) és una eina que ajuda a identificar i avaluar tots els efectes ambientals associats a la vida d'un producte o d'un procés, des de l'inici a la seva fi, a través d'una visió general i una perspectiva sistemàtica. Aquest estudi es porta a terme mitjançant un sistema de quatre fases: definició de l'objectiu i de l'abast, inventari, avaluació de l'impacte ambiental i interpretació. L'organització ISO ha redactat una sèrie de normatives que expliquen com realitzar un ACV.

1.2 OBJECTIUS

L'objectiu general d'aquesta tesina és avaluar l'impacte ambiental d'una EDAR del territori català, amb tractament de fangs que inclogui una etapa de digestió anaeròbia, mitjançant l'aplicació de la metodologia de l'ACV. En aquest estudi es posarà especial èmfasi en l'avaluació de l'impacte de la línia de tractament dels fangs, donat que la seva versatilitat implica que variacions de la mateixa poden tenir importants consequències ambientals i econòmiques. La depuradora objecte de l'estudi és l'EDAR del Baix Llobregat (Barcelona), que té capacitat per servir una població de 2 milions d'habitants equivalents.

Els objectius específics de la present tesina són:

1. Determinar l'estat de l'art de l'aplicació de l'ACV al tractament de fangs de depuradora.
2. Fer un Anàlisi del Cicle de Vida aplicat a l'EDAR del Baix Llobregat.

Per realitzar l'Anàlisi del Cicle de Vida de l'EDAR del Baix Llobregat se seguirà la metodologia indicada per les normes UNE-EN ISO 14040:2006 i 14044:2006, la qual es descriurà breument al cos de la tesina i s'annexarà de forma més detallada. Les dades de partida per l'ACV s'obtindran a partir de visites tècniques a l'EDAR del Baix Llobregat i de la consulta directa als tècnics de la planta.

Els objectius de l'ACV, les dades utilitzades, els resultats obtinguts i la seva interpretació es presentaran com un informe d'ACV. El format d'aquest informe i les parts que ha d'incloure també queden descrites per les normes ISO citades anteriorment.

L'objectiu final d'aquest estudi és establir els fonaments per tal que, a partir d'aquest primer ACV, es puguin ampliar els límits del sistema i fer-ne un ACV més complet. Així mateix, és un objectiu addicional d'aquest estudi, iniciar un procés en el que es realitzin ACVs de diferents plantes depuradores i se'n comparin els resultats. Posteriorment, caldria determinar l'efecte que suposaria canviar el tipus de tractament (especialment dels fangs) sobre l'impacte total de les EDARs.

2 REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA

2.1 TRACTAMENT DE LES AIGÜES RESIDUALS

2.1.1 Introducció

L'aigua residual generada per una població comporta un problema en el medi. Degut al seu alt contingut en matèria orgànica i microorganismes patògens no pot ser abocada directament al medi i requereix un tractament previ.

Per tractar aquesta aigua es poden fer servir sistemes convencionals, també anomenats intensius o compactes, els quals busquen depurar l'aigua en menys espai i menys temps del que necessitaria la naturalesa. Per aconseguir-ho fan ús d'infraestructures potents i d'una alta tecnificació. Aquest tipus de sistemes són els que es fan servir a les EDARs dels grans municipis. També existeixen sistemes alternatius, anomenats extensius o naturals, que no acceleren el procés de depuració, requereixen molt espai i temps, i aprofiten la capacitat depurativa del medi natural. Aquests sistemes s'usen, principalment, en petites poblacions.

Aquest estudi pretén estudiar una EDAR amb tractament de fangs. A continuació es descriuen els processos unitaris que es duen a terme en els sistemes convencionals de tractament d'aigües residuals per tal de veure com funcionen i quin és l'origen dels fangs. L'esquema bàsic d'una estació depuradora d'aigües residuals es mostra a la Figura 2.1.

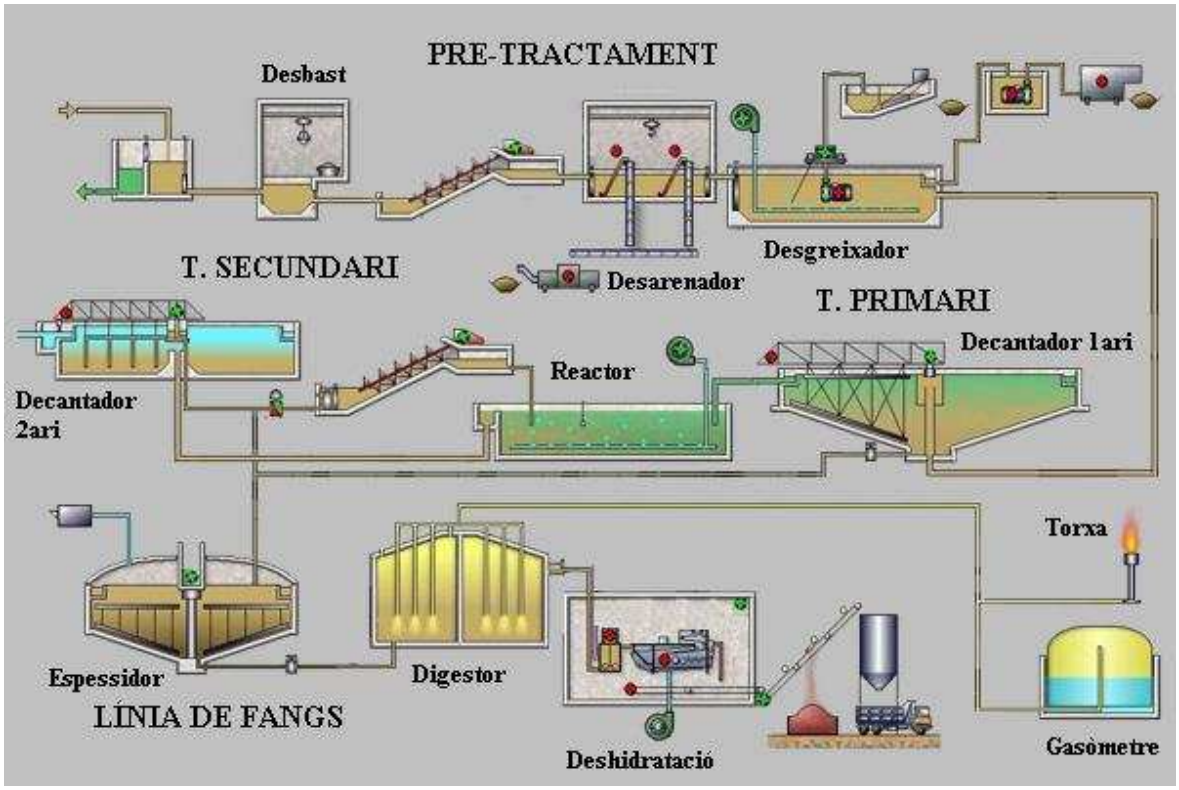

Figura 2.1 Esquema bàsic d'una estació depuradora d'aigües residuals (Adaptat de: Wikilibros, 2009).

2.1.2 Línia de l'aigua

2.1.2.1 Introducció

La línea de l'aigua en un sistema de depuració convencional consta normalment d'un pretractament, un tractament primari, un tractament secundari i en alguns casos terciari, tal i com es representa a la Figura 2.2. A la figura, també s'hi poden observar alguns del processos que es duen a terme en cadascuna de les fases.

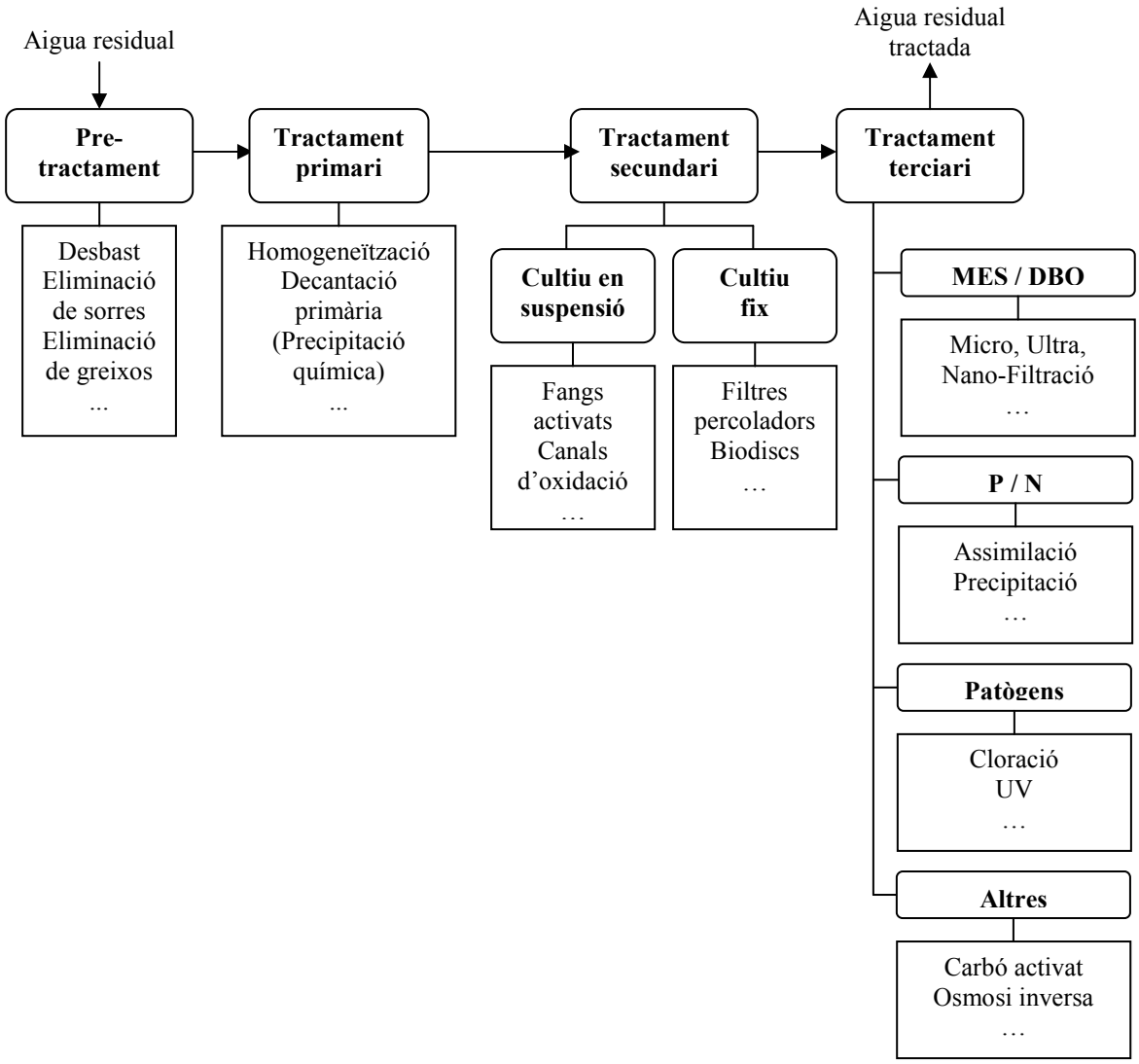

Figura 2.2 Seqüència típica de tractaments en la depuració d'aigua residual. (MES: Matèria en suspensió, DBO: Demanda bioquímica d'oxigen (mesura indirecta de la matèria orgànica), P: Fòsfor, N: Nitrogen, UV: Ultra Violeta).

2.1.2.2 Pretractament

L'objectiu del pretractament és facilitar els processos que vindran a continuació.

L'aigua arriba a l'estació depuradora a través d'un sistema de col·lectors. El pretractament s'inicia en el pou de gruixuts on s'extreuen, per mitjans mecànics, els elements de més pes

i mida. Després es retiren els sòlids més gruixuts (tamany superior a 10 cm) mitjançant unes reixes.

L'aigua és impulsada a una cota que li permetrà circular per les diferents operacions unitàries de la planta.

A continuació es procedeix al desbast amb reixes de barres i tamisos, amb el qual es retiren sòlids més petits (tamany superior a 6 mm).

Després es fa passar l'aigua per un desarenador - desgreixador d'on s'extraurà la sorra que hagi sedimentat al fons per gravetat i els greixos i espumes que surin en superfície.

Els gruixuts, fins i sorres s'abocaran a un dipòsit controlat i els greixos haurien de passar per un tractament com ara una incineració o portar-los a un abocador.

2.1.2.3 Tractament primari

L'aigua pretractada es fa passar per uns dipòsits d'homogeneïtzació de cabal i de càrrega contaminant.

Després es fa passar als decantadors primaris, uns tancs on les partícules sedimentables decanten al fons per gravetat i s'extreu el fang format. Aquest fang rep el nom de fang primari i s'envia a la línia de fangs on serà tractat.

A vegades es pot fer servir un coagulant per millorar la decantació (precipitació química o tractament físico-químic). Aquest procediment s'acostuma a utilitzar quan la càrrega contaminant de l'aigua pretractada és massa alta o inacceptable per al tractament biològic que vindrà a continuació, aleshores el tractament físico-químic es fa servir per rebaixar la càrrega contaminant i procedir a un tractament biològic o com a tractament alternatiu al tractament biològic, respectivament.

2.1.2.4 Tractament secundari

L'objectiu principal del tractament secundari és reduir el contingut de matèria orgànica dissolta en l'aigua residual afluent. Per aconseguir-ho, es recorre a l'oxidació biològica d'aquesta matèria orgànica duta a terme per microorganismes que necessiten oxigen i nutrients, i per això també es coneix aquest procés com a "tractament biològic".

Tal i com s'indica a la Figura 2.2 el cultiu pot ser fix o estar en suspensió.

Pel tractament de grans cabals, s'acostuma a fer servir el sistema de fangs activats (sistema continu amb cultiu en suspensió). L'aigua circula per un reactor airejat mitjançant difusors i/o agitat on es troben els microorganismes i té lloc l'oxidació de la matèria orgànica, generant més microorganismes i gasos.

Després, l'aigua va al decantador secundari on sedimenta el cultiu biològic. Al fons del decantador es recupera el fang de naturalesa biològica que s'envia a la línia de fangs i que rep el nom de fang secundari.

Per optimitzar el procés, una part del fang generat es recircula del decantador al reactor biològic, i així s'aconsegueix disminuir el tamany del reactor, així com els costos.

2.1.2.5 Tractament terciari

El tractament terciari té com a objectiu eliminar els microorganismes patògens, els contaminants orgànics, els nutrients com els ions fosfat i nitrat o qualsevol excés de sals minerals.

La regeneració i la reutilització de l'aigua depurada solen ser els motius per fer aquests tractaments terciaris, ja que en aquests casos es demana que l'aigua tingui una millor qualitat. Per exemple, si es vol fer servir l'aigua regenerada per regar cultius, serà necessari controlar la concentració de nutrients i especialment de patògens.

2.1.3 Línia de fangs

2.1.3.1 Introducció

A la línia de fangs es reuneixen el fang primari i secundari que són bombats des dels decantadors per ser tractats i reduir el seu potencial contaminant en ser abocats al medi.

Els objectius del tractament de fangs i els procediments per aconseguir-ho són:

1. Reduir el contingut d'aigua i així el volum del fang per tal de facilitar el seu tractament i transport.
   a) Espessiment
   b) Condicionament i deshidratació
   c) Assecatge tèrmic
2. Estabilitzar la matèria orgànica biodegradable per ampliar els usos finals del fang.
   d) Estabilització química
   e) Digestió anaeròbia o aeròbia
   f) Compostatge (també prepara el fang per l'ús posterior)

Els processos enunciats anteriorment es combinen per obtenir el resultat desitjat. El fang tractat es transporta cap a la seva disposició final (aplicació al terreny, abocament, combustible per a cimenteres, estabilització de talussos...). La Figura 2.3 representa la seqüència d'una línia de fangs típica.

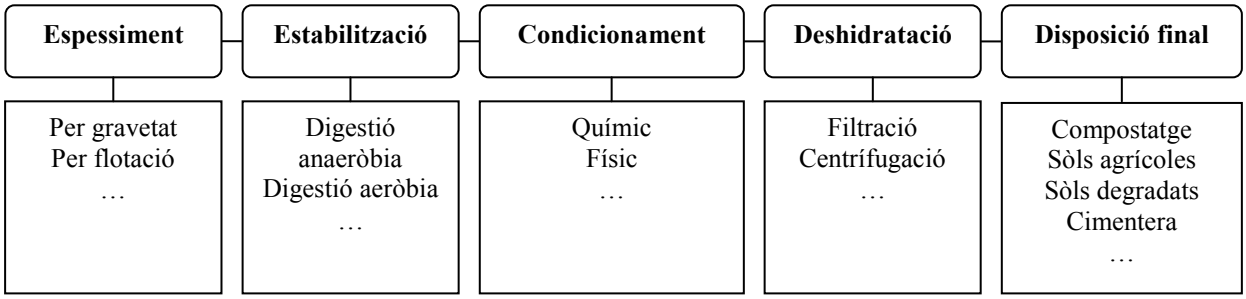

Figura 2.3 Seqüència típica de tractaments de la línia de fangs.

2.1.3.2 Espessiment

L'objectiu de l'espessiment és augmentar la concentració de sòlids del fang i així disminuir el seu volum, mitjançant procediments físics no agressius. D'aquesta manera, també es reduirà la quantitat de reactius que calgui fer servir i el cost de les etapes posteriors.

Existeixen diferents formes d'espessir el fang, però les més usades són l'espessiment per gravetat i per flotació. El primer sistema és semblant a un decantador i és indicat per fang primari, i el segon es basa en fer surar el fang i és indicat per fang secundari o mixt (barreja de fang primari i secundari).

2.1.3.3 Estabilització

Amb l'estabilització s'aconsegueix disminuir la capacitat de biodegradació del fang i que quedi pràcticament inert. A més, també es redueix el nombre de microorganismes patògens i l'olor desagradable del fang.

L'estabilització del fang pot ser química, amb l'addició de cal, o consistir en una degradació biològica, com la digestió anaeròbia o la digestió aeròbia. El mètode més usat és la digestió anaeròbia i s'explica a l'Apartat 2.2. Cal mencionar que la digestió anaeròbia ve acompanyada per una generació de biogàs que, en el cas de plantes grans, pot aprofitar-se com a font d'energia. Aquest gas s'acumula en el gasòmetre. Si hi ha excés de gas, en no poder-lo alliberar a l'atmosfera, es disposa d'una torxa que permet cremar-lo. El fang digerit passa al dipòsit d'emmagatzematge de fangs, on s'acumula per alimentar la fase següent.

2.1.3.4 Condicionament

Amb el condicionament es pretén millorar les condicions del fang per a la deshidratació. Es tracta del trencament de l'estabilitat col·loïdal del fang per facilitar-ne la sortida de l'aigua, i es pot fer afegint productes químics o aplicant calor a baixa pressió durant intervals molt curts de temps.

2.1.3.5 Deshidratació

La deshidratació és un procediment físico-mecànic per reduir la fracció líquida del fang, és a dir, busca el mateix objectiu que l'espessiment. Com a conseqüència de l'augment del contingut sòlid, disminueixen els lixiviats i els costos de transport i augmenta el poder calorífic del fang. La deshidratació es pot dur a terme sense elements mecànics a plantes petites (eres d'assecatge, llacunes...) o amb elements mecànics (filtres al buit, filtres banda, filtres premsa o centrífugues). El mètode més usat és la centrífuga perquè és un procés continu, compacte i tancat, però també comporta un elevat consum energètic i un alt cost. Un cop deshidratats, els fangs passen a una sitja des d'on són enviats a l'assecatge tèrmic o al seu destí final.

2.1.3.6 Disposició final

Higienitzar el fang tractat abans d'aplicar-lo al sòl seria recomanable tot i que actualment encara no es requereix legalment (Real Decreto 1310/1990). La higienització s'aconsegueix amb la digestió anaeròbia (especialment amb la termofílica) i amb el compostatge, fases d'estabilització del fang, o amb processos addicionals com l'assecatge tèrmic.

Finalment, el fang es transporta al seu destí final. Un dels usos més comuns és l'aplicació al terreny en agricultura o jardineria, restauració de sòls degradats o estabilització de talussos, ja sigui en forma de compost o de fang estabilitzat en forma sòlida. També es pot fer servir com a combustible per a cimenteres.

2.1.4 Consum d'energia a les EDARs

Entre el 30 i el 40% dels costos d'explotació de les EDARs s'inverteixen en energia (Metcalf & Eddy, 2003). La major part de l'energia consumida és elèctrica. La distribució típica del consum d'energia a les EDARs s'il·lustra a la Figura 2.4.

Aproximadament el 30% de l'energia és consumida a la línia de fangs. En aquest context, el tractament anaerobi dels mateixos pot contribuir en la reducció de la despesa energètica, donant que el procés és productor d'energia neta (Ferrer, 2008).

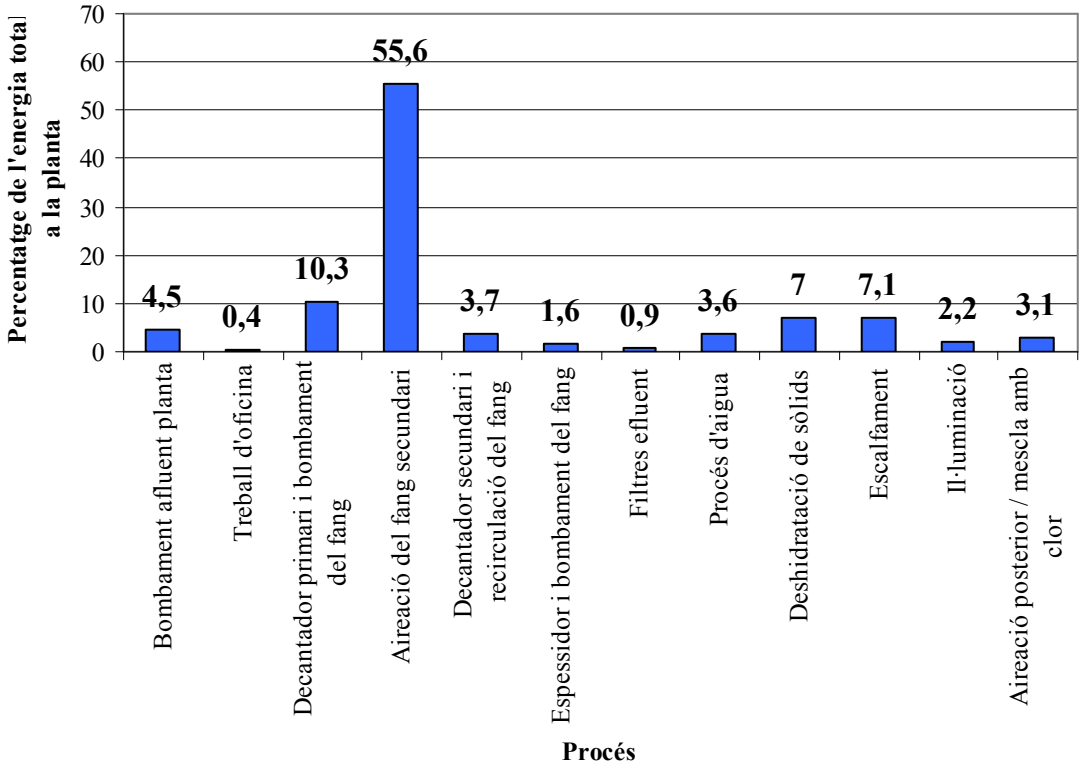

Figura 2.4 Distribució típica del consum d'energia a una EDAR (Font: Metcalf & Eddy, 2003).

2.2 LA DIGESTIÓ ANAERÒBIA

2.2.1 Introducció

La digestió anaeròbia és un dels mètodes tradicionals per estabilitzar biològicament la matèria orgànica del fang. Té lloc en un ambient reductor, sense oxigen ni cap altre oxidant fort, i permet transformar la matèria orgànica en metà (CH_4), diòxid de carboni (CO_2) i altres gasos minoritaris, produint poc fang.

Aquesta barreja de gasos és coneguda usualment com a biogàs i té una alta proporció de metà (CH_4 en concentració superior al 60% al gas i aproximadament un 40% de CO_2), amb una potència calorífica inferior de l'ordre de 5.500 kcal/m^3.

Pel principi de conservació de la matèria, en un reactor anaerobi la quantitat eliminada de Demanda Química d'Oxigen (DQO), mesura indirecta de la concentració de matèria orgànica del residu o aigua residual a tractar, es converteix en gasos. Fent un balanç de DQO al reactor es troba que la quantitat màxima de metà produïble és de 0,35 m^3 CH_4/kg DQO eliminada, en condicions normals de pressió i temperatura.

La característica principal de la digestió anaeròbia és que es pot obtenir energia (en unitats d'energia primària de l'ordre de 3,5 kWh/kg DQO eliminada).

També s'aconsegueix una higienització parcial i un control i reducció de les males olors. Cal recordar que els microorganismes no necessiten oxigen però sí nutrients per dur a terme l'estabilització de la matèria orgànica.

A continuació es presenten els avantatges i els inconvenients de la digestió anaeròbia. Els dos primers punts s'han extret de Flotats *et al.* (1997).

Avantatges:

- Producció neta d'energia: Balanç energètic molt més favorable que per a altres sistemes biològics d'eliminació de matèria orgànica, això implica una reducció del cost energètic.
- La producció de fangs (residus) és menor que en la digestió aeròbia.
- Disminució d'emissions incontrolades de gasos d'efecte hivernacle.
- El fang generat és fàcil de deshidratar.
- Estalvi del sobrecost energètic per a l'aportació d'oxigen que caldria en la digestió aeròbia (aproximadament 1 kWh/kg O_2 consumit (Flotats *et al.*, 1997).

Inconvenients:

- Inversió elevada degut a que és un sistema tancat i que necessita infraestructura pel control i l'aprofitament dels gasos produïts.
- Procés complex en què intervenen diferents tipus de microorganismes que han de conviure en equilibri, i per això és susceptible d'inestabilitat i requereix supervisió tècnica periòdica a càrrec de personal especialitzat.
- Baixa velocitat de creixement dels microorganismes que comporta elevats temps de residència i grans volums dels reactors, comparats amb la digestió aeròbia.
- En ser un procés biològic, és sensible a la presència de molts compostos inhibidors o tòxics (nitrogen amoniacal, metalls pesats, àcids grassos de cadena llarga, pH, antibiòtics i desinfectants, sulfurs, etc.).
- No s'elimina nitrogen i cal tenir-ho en compte en cas d'un alt nivell d'excedència.

2.2.2 Les fases de la digestió anaeròbia

La digestió anaeròbia està caracteritzada per l'existència de quatre fases diferenciades en el procés de degradació del substrat, terme genèric per designar l'aliment dels microorganismes, intervenint diverses poblacions de bacteris. Generalment, però, es parla de tres fases (veure Figura 2.5).

A continuació es presenten les fases de la digestió anaeròbia tal i com es descriuen segons Vicent (1995).

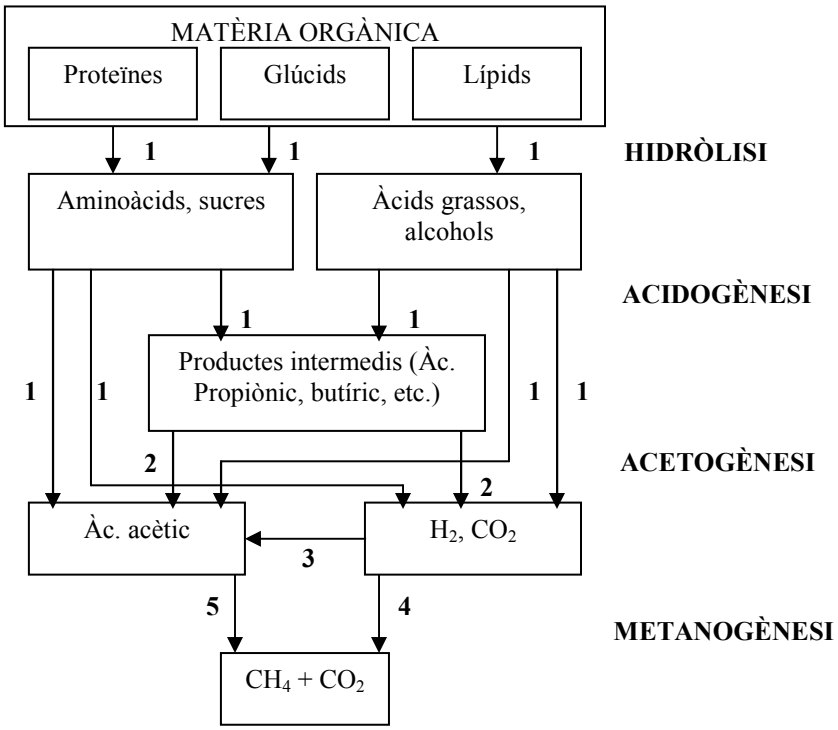

Figura 2.5 Fases de la digestió anaeròbia i poblacions bacterianes: 1) Bacteris hidrolítics-acidogènics; 2) Bacteris acetògens; 3) Bacteris homoacetògens; 4) Bacteris metanògens hidrogenòfils; 5) Bacteris metanògens acetoclàstics (Adaptat de: Pavlostathis i Giraldo – Gómez, 1991).

2.2.2.1 Etapa hidrolítica-acidogènica

En aquesta etapa actuen els anomenades bacteris hidrolítics-acidogènics. Una característica important d'aquests bacteris és el seu ràpid creixement, el temps mínim de doblatge és de 30 minuts. La concentració bacteriana és força elevada, de l'ordre de 10^8 a 10^9 bacteris per mL de fang d'aigua residual en el cas d'un procés mesòfil. La majoria d'aquests bacteris són anaerobis estrictes, encara que també n'hi ha alguns d'anaerobis facultatius.

En aquesta primera etapa els compostos orgànics complexes (polímers orgànics com glúcids, lípids i proteïnes) són despolimeritzats per acció d'enzims hidrolítics, i posteriorment són hidrolitzats en molècules més simples i solubles.

Les noves molècules més senzilles, continuen experimentant processos, ara de fermentació àcida, que originen diversos productes intermedis, els més importants dels quals són els àcids grassos volàtils: acètic, propiònic, iso-butíric, n-butíric, iso-valèric i n-valèric, i a més, els àcids següents: caproic, heptanoic, succínic, làctic, així com etanol, etanodiol, amoníac, hidrogen i diòxid de carboni.

Aquesta etapa es podria esquematitzar com la degradació de la matèria orgànica en àcids, alcohols i noves cèl·lules, i l'eliminació de DQO és mínima.

2.2.2.2 Etapa acetogènica

En aquesta etapa actuen els bacteris acetògens productors d'hidrogen, que produeixen, a més d'hidrogen, àcid acètic i diòxid de carboni, a partir dels àcids de cadena més llarga formats en l'etapa anterior.

En condicions estàndard totes aquestes reaccions són termodinàmicament desfavorables, però a pressions parcials d'hidrogen extremadament baixes (10^{-4} a 10^{-5} atm), la reacció és termodinàmicament possible i la variació d'energia és suficient com per permetre la síntesi d'ATP (molècules d'energia dels éssers vius) i el creixement bacterià. Caldrà doncs que hi hagi algun tipus de bacteri que consumeixi l'hidrogen produït durant aquesta etapa, que seran els metanògens pròpiament dits.

Tot i això, sempre hi ha alguna excepció, en aquest cas són uns bacteris sulfatoreductors que tenen una hidrogenasa (enzims que catalitzen de forma reversible l'oxidació de l'hidrogen), que els permet de realitzar l'acetogènesi en presència de sulfats, que són reduïts a sulfur. El resultat és, també, una reducció de la quantitat d'hidrogen.

Els bacteris homoacetògens, també actuants en aquesta etapa, es caracteritzen per la formació d'acetat (forma ionitzada de l'àcid acètic) com a únic metabolit a partir, tant de la fermentació de sucres, com a partir de compostos monocarbonats com el format o la mescla gasosa H_2 - CO_2. Aquest metabolisme sembla que no resulta competitiu pels bacteris metanògens que acostumen a trobar-se als reactors en concentracions 100 vegades superiors a aquest tipus de microorganismes.

2.2.2.3 Etapa metanogènica

Els bacteris metanogènics són els responsables de la formació de metà a partir de l'acetat, el metanol, el formiat, la mescla gasosa H_2 - CO_2 i algunes metilamines.

La major part del metà produït durant aquesta etapa procedeix de la reducció del diòxid de carboni per l'hidrogen.

Aquests bacteris són anaerobis estrictes, és a dir, necessiten per créixer un potencial redox menor que la majoria del anaerobis. El seu potencial redox limitant per al creixement és -330 mV, per tant, l'oxigen és un potent inhibidor de la metanogènesi, el que no vol dir que aquest tipus de bacteris siguin eliminats per una elevada exposició a altes concentracions d'oxigen, si després són mantinguts en condicions de baix potencial redox. S'ha trobat, en medis naturals, poblacions de 10^6 a 10^8 bacteris/ml de fang residual.

Aproximadament el 70% del metà produït s'obté per la degradació de l'àcid acètic pels bacteris metanògens acetoclàstics, i el seu temps mínim de doblatge és de 2 a 3 dies. Aquest temps tan llarg en comparació amb el dels bacteris acidogènics influeix en l'estabilitat del procés.

La cinètica de les etapes difereix segons el tipus d'afluent. Per a aigües amb càrrega soluble, l'etapa limitant és la metanogènica, que és a més la més sensible a l'efecte dels tòxics i a les variacions ambientals. En el cas de produir-se una sobrecàrrega ja sigui per augment de la càrrega aplicada o per inhibició de l'etapa metanogènica, l'efecte és l'acumulació en el medi de productes intermedis com els àcids grassos volàtils i l'hidrogen, que ràpidament passa a fase gasosa. El seguiment i control del procés de digestió anaeròbia pot fer-se analitzant la concentració d'aquests compostos en el medi.

2.2.3 Paràmetres ambientals i operacionals del procés

La importància dels diferents paràmetres es troba descrita a Flotats *et al.* (1997) i es resumeix a continuació.

2.2.3.1 Temperatura

La digestió anaeròbia és un procés que es pot realitzar a diferents temperatures:

- Digestió psicrofílica: per sota dels 20 ºC
- Digestió mesofílica: entre 30 i 40 ºC
- Digestió termofílica: entre 50 i 70 ºC

La temperatura influeix sobretot als bacteris metanògens. En general es treballa a temperatures de 35 ºC per raons pràctiques, però treballar a temperatures termofíliques presenta avantatges que és necessari destacar (Buhr i Andrews, 1977):

- La reacció de degradació és més ràpida i admet més càrrega, resulta una major capacitat de tractament per un mateix volum de digestió.
- El rendiment en l'eliminació de volàtils i la producció de biogàs són més alts.
- El rendiment en l'eliminació de patògens és més alt.
- La qualitat del fang per a la seva posterior deshidratació és millor.

S'ha de precisar que el principal inconvenient d'aquest procés és el seu difícil control, incloent el manteniment de la temperatura a uns 50 – 55 ºC, ja que a altes temperatures el nitrogen amoniacal es comporta com a inhibidor (Angelidaki i Ahring, 1994).

2.2.3.2 Temps de residència hidràulic (TRH)

El temps de residència hidràulic (TRH) és el temps que passa l'aigua dins el reactor i varia segons el tipus de reactor que es faci servir i les característiques del substrat. Per a reactors del tipus mescla completa sense recirculació, el TRH coincideix amb el de residència cel·lular (TRC).

2.2.3.3 Velocitat de càrrega orgànica

Aquest paràmetre és inversament proporcional al temps de residència i directament proporcional a la concentració de matèria orgànica que hi ha al fang. Les seves unitats podrien ser, per exemple: kg DQO/m^3·dia o kg SV/m^3·dia, SV són els sòlids volàtils del fang.

2.2.3.4 pH

A cada fase del procés el pH òptim és diferent i varia entre 6,5 i 7,5. Cada bacteri té el seu rang propi de pH.

Per a bacteris hidrolítics és entre 7,2 i 7,4

Per a bacteris acetògens és entre 7 i 7,2

Per a bacteris metanògens és entre 6,5 i 7,5

En general se sol afavorir un pH neutre per a mantenir el rang desitjat i que no s'acidifiqui en excés el fang. En el cas dels fangs, la seva alcalinitat és suficientment alta com per a garantir una mínima capacitat tampó que permet esmorteir les oscil·lacions de pH (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2.3.5 Nutrients i tòxics

Al fang ha d'haver-hi una relació adequada entre carboni (C), nitrogen (N) i fòsfor (P) per al desenvolupament de la massa bacteriana.

La relació C/N ha d'estar compresa entre 15/1 i 45/1, amb un valor òptim de 30/1. Valors molt inferiors redueixen la velocitat de reacció i valors molt superiors creen problemes de inhibició per amoníac.

Per a la relació C/P, el valor recomanat és de 150/1. El fòsfor en excés no té cap efecte negatiu sobre l'activitat de la flora bacteriana.

S'ha de mencionar que les formes no ionitzades dels àcids grassos volàtils com l'amoníac lliure o l'àcid sulfhídric poden inhibir els bacteris metanògens. La inhibició és de tipus reversible.

Els metalls pesats també presenten un caràcter inhibidor, o tòxic a altes concentracions.

2.2.3.6 Potencial Redox

Ha de ser suficientment baix per a assegurar el desenvolupament de les poblacions metanogèniques estrictes. Els bacteris metanògens requereixen potencials d'oxidació-reducció compresos entre -300 mV i -330 mV.

2.2.4 Configuracions del sistema

El cas més comú i simple consisteix en un sol reactor on tenen lloc totes les fases de la digestió anaeròbia.

Amb l'objectiu d'aconseguir majors taxes de reacció i rendiments en eliminació de matèria orgànica més alts, s'han proposat algunes alternatives que permeten, també, augmentar la producció de biogàs. Algunes d'aquestes alternatives són la digestió anaeròbia en dues etapes (Ponsà *et al*., 2008) i la digestió anaeròbia amb pretractament (Ferrer *et al*., 2008; Ferrer *et al.,* 2009).

La digestió en dues etapes en sèrie es desenvolupa en dos reactors. En un es realitza l'acidogènesi i en l'altre la metanogènesi. L'objectiu de separar el procés en dues etapes és reduir el temps de residència global en comparació amb un procés d'una etapa única.

La digestió amb pretractament tèrmic (70-170 ºC) consisteix també en separar el procés en dos reactors. En el primer reactor es reté el fang durant un temps curt a temperatura elevada per afavorir la hidròlisi, després, en el segon reactor, es digereix la matèria orgànica dissolta i els àcids produïts durant la primera etapa, el temps de residència d'aquesta etapa és alt.

Cal mencionar que existeixen altres mètodes per a la millora en la producció de biogàs com, per exemple, mitjançant altres pretractaments de tipus mecànic (microones, ultrasons) o químic (Climent *et al.*, 2007), la codigestió anaeròbia (digestió d'una barreja de fangs, fracció orgànica de residus municipals (FORM), altres residus orgànics) i la digestió anaeròbia termofílica (Buhr i Andrews, 1977).

2.2.5 Consideracions energètiques

El funcionament de digestors anaerobis requereix energia, però el mateix procés també és productor d'energia per l'aprofitament del biogàs. Pel que fa al consum energètic, es divideix en necessitats tèrmiques i elèctriques.

L'energia tèrmica es necessita per escalfar el fang de la temperatura ambient a la temperatura del procés i per a compensar les pèrdues de calor per les parets del digestor.

L'energia elèctrica es necessita per bombejar el fang fins el digestor i per agitar-lo un cop ja és dins el digestor.

2.2.5.1 Producció i aprofitament del biogàs

La producció de biogàs està estretament relacionada amb els paràmetres que regeixen la digestió anaeròbia: temperatura, temps de residència, velocitat de càrrega orgànica, etc. De forma general, la composició del biogàs resultant dels digestors d'una EDAR es mostra a la Figura 2.6.

El biogàs produït s'aprofita a calderes o mitjançant motors de cogeneració que permeten transformar el biogàs en energia tèrmica i elèctrica (Flotats *et al.*, 1997).

El rendiment de la conversió energètica en motors de cogeneració permet la producció d'un 35% d'energia elèctrica i un 55% d'energia tèrmica, mentre que el 10% restant correspon a les pèrdues (Zupancic i Ros, 2003).

D'acord amb balanços energètics teòrics, la digestió anaeròbia de fangs en reactors mesofílics, termofílics i amb pretractament tèrmic, pot donar lloc a una producció neta d'energia (Ferrer, 2008; Serrano, 2008).

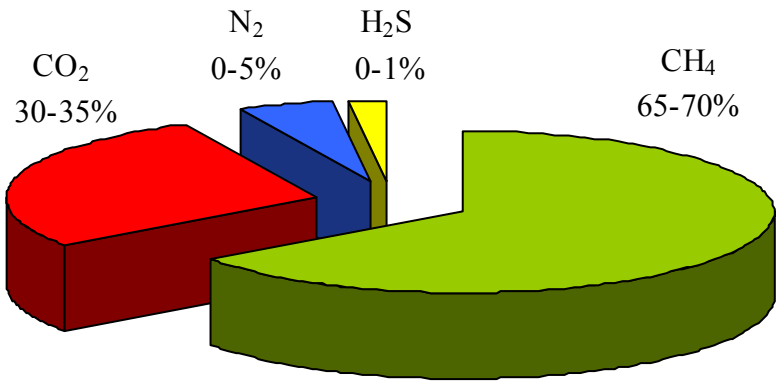

Figura 2.6 Composició típica del biogàs produït en els digestors d'una EDAR (Font: Martín, 1998).

2.3 FONAMENTS DE L'ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA

2.3.1 Introducció

La creixent consciència pel que fa a la importància de la protecció ambiental, i els possibles impactes associats amb els productes, tant manufacturats com consumits, incloent també els serveis, han augmentat l'interès pel desenvolupament de mètodes per a comprendre millor i tractar aquests impactes. Una de les tècniques desenvolupades en aquest sentit és l'Anàlisi del cicle de vida (ACV).

L'ACV pot ajudar a:

- la identificació d'oportunitats per a millorar el comportament ambiental de productes en les diferents etapes del seu cicle de vida,
- l'aportació d'informació a qui pren les decisions a la indústria, organitzacions governamentals o no governamentals (per exemple, per a la planificació estratègica, l'establiment de prioritats, el disseny i redisseny de productes i processos),
- la selecció dels indicadors de comportament ambiental pertinents, incloent tècniques de mesura, i
- el marketing (per exemple, implementant un esquema d'etiquetatge ambiental, elaborant una reivindicació ambiental, o d'una declaració ambiental del producte).

L'ACV és una de les tècniques de gestió ambiental existents juntament amb l'avaluació del risc, l'avaluació del comportament ambiental, l'auditoria ambiental i l'avaluació de l'impacte ambiental, i podria no ésser la tècnica més apropiada per usar en totes les situacions.

L'ACV estudia els aspectes ambientals i els impactes ambientals potencials al llarg del cicle de vida d'un producte o d'una activitat (en endavant, sempre que es parli de producte també s'inclouran els béns i serveis). L'expressió "impactes ambientals potencials" és relativa, a que està relacionada amb la unitat funcional d'un sistema del producte. En un ACV complet s'atribueixen als productes tots els efectes ambientals adversos, degudament quantificats, derivats del consum de matèries primeres, del consum d'energies necessàries, de les emissions i dels residus generats en el procés de producció; així com els efectes ambientals procedents de l'ús i de la fi de la vida del producte quan es consumeix o ja no es pot utilitzar i s'ha de tractar o reciclar, fins a la seva disposició final. Generalment l'ACV no considera els assumptes econòmics o socials d'un producte.

Es podria dir que el primer estudi que es va fer similar a un ACV va ser un estudi multicriteri realitzat per Harry E. Teastley Jr. per l'empresa Coca-Cola l'any 1969. L'objectiu era avaluar quina era la millor opció ambiental, l'ampolla de vidre o la de plàstic. La de plàstic va resultar ser la solució (Ecobilan, 2009).

2.3.2 Normativa

La complexitat de l'ACV requereix un protocol al que s'haurà d'ajustar tot estudi d'ACV. Aquest protocol s'ha establert a la normativa elaborada per "International Stardards Organization" ISO. A dia d'avui, les normes espanyoles vigents relacionades amb l'ACV són dues:

1) UNE-EN ISO 14040:2006, Gestió ambiental, Anàlisi del cicle de vida i Principis i marc de referència. Aquesta norma inclou:

a) la definició de l'objectiu i de l'abast de l'ACV
b) la fase d'anàlisi de l'inventari del cicle de vida (ICV)
c) la fase d'avaluació de l'impacte del cicle de vida (AICV)
d) la fase d'interpretació del cicle de vida
e) l'informe i la revisió crítica de l'ACV
f) les limitacions de l'ACV
g) la relació entre les fases de l'ACV
h) les condicions d'utilització de judicis de valor i d'elements opcionals

No descriu la tècnica de l'ACV en detall, ni especifica metodologies per les fases individuals de l'ACV.

2) UNE-EN ISO 14044:2006, Gestió ambiental, Anàlisi del cicle de vida i Requisits i directrius.

Inclou els mateixos temes que la UNE-EN ISO 14040:2006, però descriu amb més detall el marc de referència metodològic per a l'ACV i la tècnica de l'ACV.

Com s'ha dit a la introducció de la metodologia de l'ACV, generalment l'ACV no considera els assumptes econòmics o socials d'un producte, però l'enfocament del cicle de vida i les metodologies descrites en les normes internacionals ISO esmentades es poden aplicar a aquests altres aspectes.

2.3.3 Metodologia

A l'Annex 1 s'inclou una descripció general de l'Anàlisi del cicle de vida i el seu marc de referència metodològic. També s'explica com s'ha de redactar i en què consisteix un informe de l'ACV i el concepte i la necessitat d'una revisió crítica de l'ACV. A més, l'Annex 1, també consta d'exemples de fulls de recollida de dades i d'exemples d'interpretació del cicle de vida. Aquests sis apartats són una traducció al català de les versions oficials en castellà de les Normes Europees EN-ISO que fan referència a l'ACV, és a dir, les normes UNE-EN ISO 14040 i UNE-EN ISO 14044, incloent també alguns exemples d'altres fonts per entendre millor el contingut de les normes. A l'Annex 1 també s'hi detallen les limitacions d'un ACV i el programari disponible per dur a terme un ACV, recollits de diferents fonts bibliogràfiques.

A continuació, però, es fa un resum de la metodologia de l'ACV per tal que el lector pugui seguir els passos que s'aniran realitzant en l'elaboració d'aquest estudi.

L'ACV es desenvolupa en quatre fases que es poden apreciar a la Figura 2.7.

L'ACV modela el cicle de vida com un sistema format per processos unitaris relacionats entre sí, bàsicament, per fluxos de massa i d'energia.

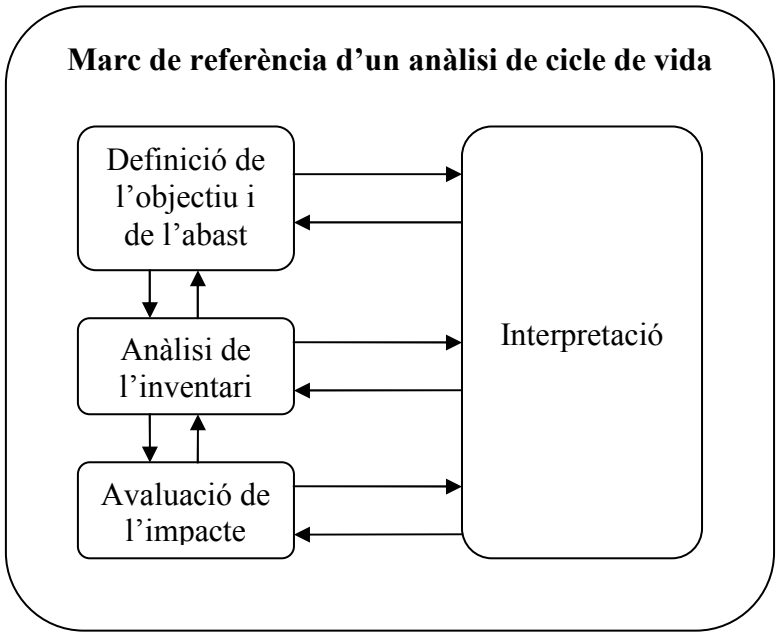

Figura 2.7 Fases d'un ACV (Font: UNE-EN ISO 14040).

2.3.3.1 La fase de definició de l'objectiu i de l'abast

Primer de tot cal definir l'objectiu de l'estudi i el seu abast. L'abast d'un ACV inclou la definició dels límits del sistema (parts del cicle de vida o processos unitaris que es tindran en compte a l'estudi i perquè) i de la unitat funcional (unitat que descriu i quantifica la funció principal del sistema analitzat i proporciona una referència respecte de la qual les entrades i sortides dels processos poden ser normalitzades en un sentit matemàtic).

Amb la intenció de que s'entenguin els conceptes, a continuació es presentarà un exemple sense entrar gaire en detall. Es podria decidir estudiar l'impacte ambiental d'una planta depuradora d'aigües residuals, tenint en compte només els processos unitaris que formessin part del tractament de les aigües, és a dir, que quedarien fora dels límits del sistema tots aquells processos que tinguessin a veure amb la construcció de la planta depuradora, amb el tractament dels fangs o amb el transport dins de la planta. Es podria prendre com a unitat funcional 1000 m^3/dia d'aigua residual tractada durant 5 anys.

2.3.3.2 La fase d'anàlisi de l'inventari del cicle de vida (ICV)

La fase d'anàlisi de l'inventari del cicle de vida consisteix en recopilar les dades d'entrada i/o sortida de cada procés unitari en relació amb el sistema que s'està estudiant i relacionar-les amb la unitat funcional. Les dades necessàries es poden treure de la literatura, de mesures de camp o de simulacions.

Seguint amb l'exemple anterior, caldria veure quins serien els cabals d'entrada i sortida de cada procés, el consum energètic, les emissions, l'ús de reactius, etc., tenint en compte quina és la unitat funcional de l'estudi.

2.3.3.3 La fase d'avaluació de l'impacte ambiental del cicle de vida (AICV)

L'objectiu de la fase d'avaluació de l'impacte del cicle de vida (AICV) és proporcionar informació addicional per a ajudar a avaluar els resultats de l'inventari del cicle de vida

d'un sistema del producte amb la finalitat de comprendre millor la seva importància ambiental. Els diferents elements d'aquesta fase es poden veure a la Figura 2.8.

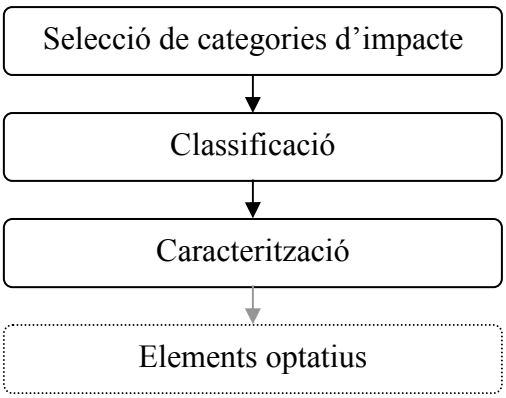

Figura 2.8 Elements de la fase AICV (Adaptat de: UNE-EN ISO 14040).

- Selecció de categories d'impacte:

Segons l'inventari d'entrades i sortides es trien una sèrie de categories d'impacte que reflecteixin els possibles impactes que el sistema pot generar al medi. Algunes de les categories d'impacte més utilitzades són l'esgotament de recursos abiòtics, el canvi climàtic, la disminució de l'ozó estratosfèric, l'acidificació, l'eutrofització, la toxicitat, l'ús del sòl i d'altres com el soroll i les olors. Cada categoria d'impacte es caracteritza per un indicador. Per exemple, la categoria de canvi climàtic podria tenir com a unitat de l'indicador, kg CO_2-equivalents per unitat funcional.

- Classificació:

Seguidament, s'han de classificar els resultats de l'inventari en les categories d'impacte seleccionades, tenint cura de no assignar el mateix resultat a dues categories d'impacte i, en el cas que un resultat afectés a dues categories d'impacte, fer-ne una correcta assignació.

- Caracterització:

Tots els resultats assignats a una mateixa categoria d'impacte no causen els mateixos efectes. Per exemple, un gram de CO_2 té un impacte sobre el canvi climàtic menys important que un gram de CH_4. Per aquest motiu, els resultats de l'inventari classificats en una mateixa categoria s'hauran de multiplicar pel seu factor de caracterització corresponent, i després es podran sumar tots per obtenir l'indicador de la categoria. Això es fa per cada categoria, d'acord amb l'expressió 2.1.

$$indicadordecategoria_i = \sum_j resultatICV_{ji} \cdot Factor_{ji} \qquad (2.1)$$

On "i" seria la categoria i "j" els diferents resultats de l'inventari classificats dins de la categoria.

- Elements optatius:

Finalment, hi ha una sèrie de procediments que no són obligatoris i que augmenten la subjectivitat del resultat. Els indicadors de categoria es poden normalitzar (quantificar el valor dels resultats de l'indicador de categoria en relació a un valor de referència), per exemple, segons els indicadors que s'obtindrien d'estudiar l'impacte d'una persona que viu a l'Europa occidental durant un any. Els indicadors normalitzats també es podrien ponderar establint uns factors numèrics que donin una importància relativa a les diferents categories d'impacte segons uns judicis de valor per després sumar-los i obtenir un resultat ponderat en forma d'un únic índex ambiental global del sistema

2.3.3.4 La fase d'interpretació del cicle de vida

La interpretació del cicle de vida és la fase final del procediment de l'ACV, a la qual es resumeixen i discuteixen els resultats de l'ICV i de l'AICV com a base per a les conclusions, recomanacions i presa de decisions d'acord amb l'objectiu i l'abast definits.

2.3.4 Importància de la localització

En la realització d'un ACV s'ha de triar una base de dades i una metodologia per realitzar l'avaluació de l'impacte ambiental. En funció de quines dades i quins mètodes es facin servir, els resultats prendran determinats valors que, potser, no seran vàlids per la localització del sistema que s'estigui estudiant.

2.3.4.1 Bases de dades

Segons Aranda (2008), en els últims anys s'ha avançat considerablement en el camp de l'ACV en aspectes com són el gran nombre d'estudis d'aquest tipus realitzats sobre una gran diversitat de productes, processos i/o serveis; l'estandardització de l'ACV (sèrie de normes UNE-EN ISO 14040 o la guia de Guinée *et al.* (2002)); o determinats aspectes metodològics com el desenvolupament de categories d'impacte.

Tot i això, la recollida de dades és la part que més temps consumeix en un ACV (Wenzel *et al.,* 1997). Tot i l'esforç que s'està fent en els últims anys per construir i estandarditzar bases de dades per a la realització d'inventaris de cicle de vida (per exemple, la base de dades Ecoinvent del Grup PRé Consultants (Pré Consultants, 2009a), l'accessibilitat de les dades continua essent un greu problema. Actualment les bases de dades utilitzades en els estudis d'ACV són les disponibles a escala europea o, fins i tot, mundial, i això pot induir en ocasions a error en aplicar la tecnologia europea o mitjanes mundials a qualsevol país, perquè en molts casos les diferents bases de dades no són compatibles (Aranda, 2008).

Actualment existeixen programes informàtics al mercat que permeten realitzar estudis d'ACV amb diferents graus de detall. Tots aquests programes fan servir bases de dades de productes i processos per a realitzar l'anàlisi d'inventari del sistema a analitzar.

Pel que fa a les bases de dades per a ACV, les més utilitzades a nivell internacional segons la Xarxa Temàtica Catalana d'ACV (2002) són:

- BUWAL 250 i ETH-ESU 96 (Suïssa): energia, transports, i materials d'envasos i embalatges.
- IDEMAT (Holanda): energia, transports, i materials industrials.

- Ecoinvent de PRé Consultants (Holanda): dades de Suïssa).
- IVAM (Holanda): agricultura i materials de construcció.
- TEAM (França, Regne Unit, Estats Units, Itàlia, Japó): és el grup de programes que funcionen amb la base de dades d'Ecobilan, una empresa consultora multinacional. Les diferents bases de dades estan especialitzades en tractament de residus (WIZARD), productes electrònics (EIDE), general (TEAM), etc.
- Boustead (Regne Unit).
- PIRA (Regne Unit).
- Chalmers (Suècia): materials d'envasos i embalatges, energia, transports.
- GaBi (Alemanya).
- Davis i Haglund (1999).
- Audsley *et al.* (1997).
- FRANKLIN US LCI (Nord Amèrica).

Hi ha països que han treballat en el desenvolupament d'una base de dades per l'ACV pròpia (Alemanya, Suïssa, USA o Japó), tal i com es mostra en els resultats presentats a la conferència LCM 2003 celebrada a Seattle. Cal tenir present, però, que la incertesa associada a l'ús d'aquestes bases de dades en un marc espanyol pot ser molt important, restant utilitat als resultats obtinguts a l'estudi per a la presa de decisions a nivell de l'Administració o de l'empresa (Aranda, 2008).

2.3.4.2 Metodologia per l'avaluació de l'impacte ambiental

A la fase d'avaluació d'impactes del cicle de vida (AICV) es procedeix a les fases de classificació, caracterització, normalització i ponderació. Les dues primeres estan definides a la normativa i tenen caràcter objectiu mentre que les segones, sobretot la ponderació, tenen un biaix important segons quin sigui el mètode d'avaluació considerat. Cadascuna de les metodologies incorpora un conjunt de categories d'impacte determinades i usa diferents factors per a quantificar els impactes ambientals.

Seria interessant poder disposar de factors de normalització per al territori espanyol, el que ens permetria comparar diferents processos o activitats desenvolupades a Espanya. Segons l'anàlisi que s'estigui realitzant, no sembla raonable ponderar utilitzant factors desenvolupats en altes països, ja que els nostres problemes ambientals són diferents i també és diferent la percepció que tenen els ciutadans espanyols dels problemes ambientals (Aranda, 2008).

Actualment està en curs una iniciativa (UNEP-SETAC, 2008), a càrrec de *United Nations Environmental Program* (UNEP) i per *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), dins la qual es pretén establir un marc general de la fase d'AICV i identificar les necessitats d'investigació. Entre les publicacions de la Iniciativa del cicle de vida es troben un document word amb un llistat del mètodes disponibles per la fase de l'AICV i un document excel amb una breu descripció del mètodes per l'AICV i de les seves categories. Els mètodes que es presenten es detallen a continuació, així com l'enllaç d'internet on es poden trobar:

- Eco-indicator 99 (Goedkoop i Spriensma, 2000): http://www.pre.nl/eco-indicator99/
- EDIP 97: http://ipt.dtu.dk/~mic/EDIP97
- EDIP 2003: http://ipt.dtu.dk/~mic/EDIP2003

- EPS 2000d (*Environmental Priority Strategies in product design*) (Steen, 1999): http://eps.esa.chalmers.se/
- Handbook on LCA o CML 2 baseline method (2000), (Guinée *et al.*, 2002) que és una adaptació d'un dels primers treballs de desenvolupament de metodologia per l'ACV (Heijungs *et al.*, 1992): http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html
- Impact (2002)+: http://www.epfl.ch/impact
- JEPIX: www.jepix.org
- LIME: http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm
- Swiss Ecoscarcity: http://www.e2mc.com/BUWAL297%20english.pdf
- TRACI: http://epa.gov/ORD/NRMRL/std/sab/iam_traci.htm

El grup Pré Consultants ofereix una llista del mètodes d'avaluació de l'impacte ambiental del cicle de vida (AICV) disponibles al seu programari SimaPro per a la realització d'un ACV (Pré Consultants, 2009b). El llistat és el següent:

- Eco-indicador 99 (Goedkoop i Spriensma, 2000).
- Eco-indicador 95.
- CML 92 (Heijungs *et al.*, 1992).
- CML 2 baseline method (2000) (Guinée *et al.*, 2002) que és una adaptació d'un dels primers treballs de desenvolupament de metodologia per l'ACV, CML 92 (Heijungs *et al.*, 1992).
- EDIP/UMIP (*Environmental Design of Industrial Products*, UMIP en danès) (Hauschild i Wenzel, 1998; Wenzel *et al.*, 1997).
- EPS 2000 (*Environmental Priority Strategies in product design*) (Steen, 1999).
- Ecopoints 97 (BUWAL, 1998), elaborada pel Swiss Ministry of the Environment (BUWAL).
- Impact 2002+.
- TRACI.
- EPD method.
- Cumulative Energy Demand.
- IPCC Greenhouse gas emissions.

Si bé existeixen indicadors que són universals i així s'han de considerar, com per exemple el canvi climàtic, n'hi ha d'altres que depenen de les condicions locals, per exemple l'eutrofització tindrà relació amb les característiques dels sòls i les aigües i la presència de superfícies aquàtiques i, per tant, haurien d'adaptar-se a les diferents condicions (Aranda, 2008).

Per tant, és important desenvolupar factors de caracterització específics per cada lloc que tinguin en compte diferències en els mecanismes d'exposició i destí, en els nivells de concentració de contaminants en el medi, en el nombre i la sensibilitat dels receptors potencials, etc., per poder avaluar de forma més realista l'impacte ambiental i poder actuar en conseqüència (Potting i Hauschild, 2006). La tendència actual en el marc de l'ACV és desenvolupar factors de caracterització dependents del lloc (Aranda, 2008). Cal citar com a exemples l'estudi realitzat per Finnveden i Nilsson (2005) a Suècia, o la iniciativa canadenca de Toffoletto *et al.* (2005).

En aquest context, Potting i Hauschild (2004) demostraren la importància de la diferenciació espacial en els models de caracterització per a les principals categories d'impacte no globals (acidificació, eutrofització, toxicitat humana, eco-toxicitat, ús del sòl)

i proporcionaren la metodologia EDIP2003 (Potting i Hauschild, 2004) amb factors específics de lloc per a diferents països europeus. En aquest document es presenten per Espanya factors de caracterització específics de lloc per acidificació, eutrofització terrestre, eutrofització en aigües continentals i marines i de formació d'ozó fotoquímic i referències per a la normalització. No obstant, queda molta feina a desenvolupar en aquest camp en categories tant importants com la toxicitat humana o la eco-toxicitat (Aranda, 2008).

El motiu pel qual la diferenciació espacial no es té en compte a la fase d'avaluació de l'impacte ambiental a la majoria d'eines per un ACV sembla ser que és la manca de pressió per part de l'usuari, dels professionals de l'ACV (Potting i Hauschild, 2006).

L'objectiu final seria poder disposar d'una base de dades de l'estil d'Ecoinvent (Suïssa) i una guia metodològica d'indicadors a l'estil CML 2 baseline (Holanda) per a activitats desenvolupades a Espanya (Aranda, 2008).

2.4 ESTAT DE L'ART EN L'APLICACIÓ DE L'ACV AL TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS I DE FANGS

L'Anàlisi del cicle de vida va ser desenvolupat inicialment per productes manufacturats o materials (Young i Vanderburg, 1994), però aquest enfocament conceptual s'ha adaptat per avaluar els efectes ambientals de processos com, per exemple, el tractament d'aigües residuals o de fangs de depuradora.

Bengtsson *et al.* (1997) van fer servir l'ACV per facilitar l'elecció de tecnologies per sistemes de tractament d'aigües residuals a nivell municipal. En altres estudis, l'ús de l'ACV estava més centrat en l'avaluació de l'explotació d'una EDAR des d'un punt de vista integral. Clauson-Kaas (2000) va optimitzar l'explotació d'una EDAR de Dinamarca emprant la metodologia de l'ACV. Per altra banda, Mels *et al.* (1999) van identificar escenaris de tractament de fangs més sostenibles basats en canvis estructurals en el pretractament físico-químic.

També han estat publicats un nombre significant d'estudis que comparen processos de tractament de fangs de depuradora, els quals es resumeixen a la Taula 2.1, al final d'aquest apartat, i es comenten a continuació.

Bridle i Skrypski-Mantele (2000) van considerar alguns processos nous com l'oxidació humida, la pirròlisi, etc., i van fer servir mètodes d'input-output[1]. També feren servir aquests mètodes Hwang i Hanaki (2000) per determinar balanços d'energia i de CO_2 pel procés d'incineració.

A Alemanya, es va presentar un estudi de diferents escenaris de tractament de fangs per una planta depuradora ("Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen", 2001); i Müller *et al*. (1999) van presentar un estudi similar a l'anterior però a Suïssa.

A França, es va dur a terme un anàlisi incloent aspectes socials i excloent nous processos ("Agence de l'eau Rhin-Meuse", 1999a i 1999b). La toxicitat humana no es va tenir en compte i alguns contaminants no es van considerar (micro-contaminants, dioxines, etc.). Cal afegir que la recuperació d'energia i de coproductes no estava clarament descrita, tot i que pot ser molt important en un ACV comparatiu (Lundin *et al.,* 2000).

Chassot i Candinas (1997) van dur a terme un estudi, en una planta en concret, per fang digerit. Neumayr (1999) també va treballar amb fang digerit.

Benz e*t al*. (1995) van fer un ACV per processos de tractament de fangs molt centrat en llits fluïdificats i incineració en forns de ciment, comparant-los amb l'aplicació en agricultura. Un grup de treball de Suïssa també estudià els forns de ciment, fent servir un enfocament diferent al del cicle de vida, però no va comparar-los amb altres processos com l'aplicació en agricultura, la pirròlisi, etc. ("Groupe de travail nouveaux combustibles dans l'industrie cimentière suisse", 1999).

Dels estudis citats fins ara, només en el de Benz *et al.* (1995) es fa servir l'ACV com a mètode d'estudi, però no es contempla la digestió anaeròbia dels fangs.

A continuació es resumeixen alguns articles que sí fan servir un ACV en els seus estudis o que són més propers a l'estudi que es planteja en aquesta tesina, i que també consten a la Taula 2.1.

Hospido *et al.* (2001) van analitzar i avaluar diferents tècniques de gestió de fangs de depuradora d'aigües residuals mitjançant l'ACV i seguint la metodologia proposada per SETAC. Els escenaris proposats eren: la incineració, la deposició en un abocador controlat i la combinació d'incineració i deposició en un abocador controlat. La unitat funcional era de 100 kg de fangs, i la producció de fangs era la corresponent a una EDAR de Galícia que tracta l'aigua residual de 90.000 habitants equivalents (hab-eq). El tractament primari consisteix en l'eliminació de sorres i sòlids en suspensió volàtils, i el tractament secundari en un sistema de fangs activants. Els fangs s'espesseixen, s'estabilitzen anaeròbiament i es deshidraten amb filtres banda. Per la definció dels escenaris es van usar dades holandeses i es va utilitzar el programari SimaPro. Van estudiar les categories d'impacte següents: escalfament global, destrucció de la capa d'ozó, acidificació i eutrofització; i el consum d'energia. Els resultats de la caracterització es normalitzaren i es ponderaren. D'acord amb els resultats, per totes la categories d'impacte estudiades, la combinació d'incineració i deposició en abocador controlat minimitza l'impacte ambiental provocat pel tractament de fangs de depuradora; essent el paràmetre clau d'aquest impacte la distància entre el punt de generació (EDAR) i el punt de tractament (planta incineradora o abocador). L'escenari combinat també és el que consumeix més energia, i per tant es conclou que per minimitzar l'impacte derivat del consum energètic cal potenciar tractaments productors d'energia: plantes incineradores, plantes de cogeneració, abocadors amb recuperació energètica, etc.

Suh i Rousseaux (2001) van comparar els impactes ambientals de cinc alternatives per al tractament de fangs d'EDAR en el context francès. Les alternatives estaven compostes per un destí principal (incineració, aplicació a l'agricultura o abocador), un procés d'estabilització (estabilització amb cal, compostatge o digestió anaeròbia) i el transport del fang. Les dades necessàries per fer l'avaluació eren dades mitjanes de la literatura, dades reals mesurades i els resultats de simulacions. Els indicadors resultants de l'impacte ambiental es van normalitzar segons la referència de la contribució d'una persona de l'Europa Occidental durant un any, per tal d'entendre millor la seva magnitud relativa. Els resultats normalitzats es van agregar, finalment, en un únic resultat de l'ACV mitjançant la seva ponderació amb factors de pes, que serien sotmesos a un anàlisi de sensibilitat. L'estudi mostrà que la combinació de digestió anaeròbia i aplicació a l'agricultura era l'alternativa que malmetia menys el medi, pel fet de generar menys emissions i requerir un menor consum energètic; i que les substàncies que contribuïen més a la toxicitat humana i

a l'eco-toxicitat eren els metalls pesants procedents de les emissions a l'atmosfera de la incineració i del fang aplicat al sòl agrícola.

Houillon i Jolliet (2004) van comparar sis escenaris de tractament de fangs procedents d'una EDAR que tractava 300.000 hab-eq. Les alternatives considerades eren l'ús en agricultura, la incineració en llit fluïditzat, l'oxidació humida, la pirròlisi, la incineració en forns de ciment i l'abocador. L'estudi se centrà en l'energia i en les emissions que contribueixen a l'escalfament global al llarg de tot el cicle de vida dels tractaments. Com a resultat, cal dir que les càrregues evitades gràcies a l'ús de coproductes són molt importants en termes de consum energètic i d'emissió de contaminants. El balanç energètic suggereix que la incineració i l'aplicació a l'agricultura tenen el consum d'energia primària no-renovable més baix. Pel que fa a l'escalfament global, la incineració en forns de ciment té el millor balanç, i l'abocador i l'aplicació a l'agricultura el pitjor.

Vidal *et al*. (2002) van avaluar les implicacions ambientals d'incloure canvis estructurals en una planta de tractament d'aigua residual per tal de reduir la concentració de nitrogen en l'efluent de la planta. Els efectes ambientals d'aquests canvis estructurals van ser avaluats mitjançant l'ús del marc teòric de l'ACV. La planta de tractament d'aigua residual escollida com a escenari de referència tenia una configuració de fangs activats. Les configuracions de procés modificat de Ludzack-Ettinger i de rasa d'oxidació van ser seleccionades com a modificacions de l'escenari de referència. Els resultats d'aquest estudi mostren que la inclusió de mecanismes per eliminar nitrogen a la configuració de la planta redueix el seu impacte en l'eutrofització, però simultàniament augmenta l'efecte de consum de recursos abiòtics, d'escalfament global, d'acidificació i de toxicitat humana. Aquestes tendències generals, no obstant, varien segons la configuració escollida per eliminar el nitrogen. Tenint en compte tots els impactes junts, la configuració de rasa d'oxidació causaria menys impacte ambiental que la configuració de procés modificat de Ludzack-Ettinger, considerant les característiques dels escenaris triats.

El primer article destacat estudia dues alternatives pel tractament de fangs d'una EDAR de Galícia (amb fangs activats i digestió anaeròbia dels fangs) i defineix els dos escenaris de tractament de fangs amb dades holandeses. Els dos següents estudien diferents tipus de tractament de fangs i donen una idea de com s'ha d'aplicar un ACV en aquest tipus de procés; un està basat en dades del context francès i l'altre en dades mitjanes de França i Suïssa. La digestió anaeròbia està inclosa en un dels escenaris del segon article destacat, tot i que no se'n fa un estudi en detall, però no del tercer. El quart article no estudia el tractament de fangs però és un dels pocs estudis fets amb dades mitjanes de depuradores catalanes i d'aquesta manera s'acosta territorialment a l'estudi plantejat en aquesta tesina.

Com s'ha pogut veure, en els últims 20 anys s'han dut a terme alguns estudis d'ACV en el camp del tractament d'aigües residuals i el tractament de fangs, però no s'ha fet cap estudi sobre una estació depuradora d'aigües residuals amb tractament anaerobi de fangs del territori català. Aquest és doncs, l'objectiu general de la tesina presentada.

Taula 2.1 Resum dels articles relacionats amb la comparació de processos de tractament de fangs.

Autor	**Any**	**Mètode**	**Procés**	**Observacions**
Bridle i Skrypski-Mantele	2000	Input-output [1].	Oxidació humida, pirròlisi.	
Hwang i Hanaki	2000	Input-output [1] per balanços d'energia i de CO_2.	Incineració.	No compara amb altres processos.
"Ministerium für.."	2001		Diferents escenaris de tractament de fangs.	Planta d'Alemanya.
Müller *et al*.	1999		Diferents escenaris de tractaement de fangs.	Planta de Suïssa.
"Agence de l'eau Rhin-Meuse"	1999a i 1999b	Inclou aspectes socials.	No inclou nous processos (oxidació humida, pirròlisi, etc.).	No inclou toxicitat humana, alguns contaminants, recuperació d'energia i de coproductes.
Chassot i Candinas	1997		Digestió de fangs.	Planta concreta.
Benz *et al*.	1995	ACV.	Llits fluïdificats, incineració, aplicació agricultura.	
Neumayr	1999		Digestió de fangs.	
"Groupe de travail..."	1999	No ACV.	Forns de ciment.	No compara amb altres processos.
Hospido *et al.*	2001	ACV + flux energia.	Incineració, abocador controlat i combinació dels dos.	Dades de producció de fang d'una EDAR gallega i definició dels escenaris amb dades holandeses.
Suh i Rousseaux	2001	ACV + anàlisi de sensibilitat.	Estabilització amb cal, compostatge, o digestió anaeròbia + incineració, aplicació a l'agricultura o abocador + transport del fang.	Context francès.
Houillon i Jolliet	2004	ACV (energia i esclafament global).	Ús en agricultura, la incineració en llit fluïdificat, l'oxidació humida, la pirròlisi, la incineració en forns de ciment i l'abocador.	Dades mitjanes de França i Suïssa. No estudia digestió anaeròbia.
Vidal *et al*.	2002	ACV	Fangs activats, procés modificat de Ludzack-Ettinger i de rasa d'oxidació.	Dades mitjanes de depuradores catalanes.

[1] El mètode input-output va ser desenvolupat per Wassily W. Leontief (San Petersburg, 1906 - Nova York, 1999), per la qual cosa va obtenir el Premi Nobel d'Economia el 1973. Les taules input–output, el suport estadístic del model, descriuen el flux de béns i serveis entre els diferents sectors de l'economia nacional durant un període fixat de temps.

3 INFORME DE L'ACV DE L'EDAR DEL BAIX LLOBREGAT

3.1 DEFINICIÓ DE L'OBJECTIU I DE L'ABAST

3.1.1 Aspectes generals

L'Anàlisi del cicle de vida de l'EDAR del Baix Llobregat és un ACV que forma part de la tesina de la Lola Bravo Hidalgo, estudiant de l'Escola de Camins, Canals i Ports de Barcelona (ETSECCPB) a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). La tesina es realitza a la Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental (DEHMA) sota la tutela de la professora Ivet Ferrer i Martí.

Data: Curs acadèmic 2008-2009.

L'estudi es realitzarà seguint els requisits de les normes UNE-EN ISO 14040:2006 i 14044:2006.

3.1.2 Objectiu de l'ACV

3.1.2.1 Objectiu

L'objectiu principal d'aquest ACV és quantificar l'impacte ambiental de l'EDAR del Baix Llobregat (Barcelona). Es determinarà l'impacte global de la línia de l'aigua i es posarà especial èmfasi en l'impacte de la línia de fangs (amb la digestió anaeròbia com a tractament per a l'estabilització dels fangs), per tal d'identificar els factors més importants que influeixen en l'impacte ambiental del tractament de fangs.

3.1.2.2 Raons per fer l'estudi

L'entrada en vigor de la Directiva 91/271/CEE sobre el tractament de les aigües residuals urbanes va provocar un augment del nombre d'estacions depuradores d'aigües residuals a Catalunya. Així mateix, també va augmentar la producció de fangs de depuradora, que esdevingueren un potencial problema ambiental degut al seu elevat contingut en matèria orgànica i patògens. Per tant, el tractament de fangs ha esdevingut un tema clau del tractament i la gestió de les aigües resiudals a Catalunya. D'aquí es deprèn l'interès de la realització d'un ACV amb dades d'una planta depuradora del territori català que compti amb línia de tractament de fangs.

Fins al moment, no s'ha fet cap Anàlisi del cicle de vida d'una depuradora amb tractament de fangs en territori català. Per aquests motius, l'EDAR triada per fer l'estudi és l'EDAR del Baix Llobregat (Barcelona), que té la digestió anaeròbia com a mètode per estabilitzar la matèria orgànica del fang. S'ha triat una EDAR amb digestió anaeròbia perquè és representativa del territori català (a Catalunya hi ha 25 instal·lacions amb digestió anaeròbia, d'acord amb l'Agència Catalana de l'Aigua (2008a)).

3.1.2.3 Aplicacions i públic previst

Els resultats de l'ACV es presentaran davant d'un tribunal d'avaluació de la tesina. En principi, els resultats no transcendiran més enllà de la Secció d'Enginyeria Sanitària i

Ambiental del DEHMA, a l'Escola de Camins de Barcelona de la UPC. No es preveu utilitzar els resultats en asseveracions comparatives que es divulguin al públic.

3.1.3 Abast de l'ACV

3.1.3.1 Descripció del sistema a estudiar i funció

El sistema a estudiar és la depuradora del Baix Llobregat, incloent la línia de l'aigua i la línia de fangs.

La informació d'aquest apartat s'ha obtingut de l'Entitat del Medi Ambient (EMA)-EMSHTR (2008), de l'Agència Catalana de l'Aigua (2008b) i de les pròpies dades facilitades pels tècnics de la planta del Baix Llobregat (Annex 2).

EDAR del Baix Llobregat

La depuradora del Baix Llobregat, situada al municipi del Prat de Llobregat, és una de les més grans d'Europa. Amb aquesta planta es completa el sistema de sanejament metropolità en depurar-se totes les aigües residuals metropolitanes, amb la conseqüent millora de les condicions ambientals de l'àrea metropolitana. Depura aigua residual domèstica i industrial. A la Figura 3.1 s'aprecien els decantadors secundaris de l'EDAR.

Figura 3.1 Decantadors secundaris de l'EDAR del Baix Llobregat (Font: Entitat del Medi Ambient (EMA)-EMSHTR, 2008).

Funcionament

L'EDAR del Baix Llobregat està ubicada en una zona amb una forta implantació industrial, en el Delta del Llobregat (veure Figura 3.2).

Va iniciar el seu funcionament durant l'any 2002. El 2003 van entrar en funcionament les instal·lacions de tractament biològic de les aigües residuals i les instal·lacions per al tractament de fangs amb digestió anaeròbia i assecatge tèrmic.

Figura 3.2 Situació de l'EDAR del Baix Llobregat dins el Delta del Llobregat (Font: Google Earth, 2008).

Ja durant el 2006, es va posar en marxa el procés de reducció de fòsfor i nitrogen, i el tractament terciari, que permet reutilitzar l'aigua depurada per al reg agrícola, per al manteniment del cabal ecològic de l'últim tram del riu Llobregat, per a les zones humides del delta (aiguamolls) i com a barrera per a la intrusió salina (a aquesta última també se li fa un tractament d'osmosi inversa per reduir-ne la conductivitat). Alguns mesos també surten camions cuba carregats amb aigua regenerada.

No hi ha dubte de la rellevància pel medi d'aquesta obra i de que els seus beneficis sobre l'entorn seran determinants. Alguns ja s'han començat a notar i se'n destaquen els següents:

- Millora de la qualitat de les aigües de la zona costanera, que permet la recuperació del litoral del Prat de Llobregat i de les platges del sud de Barcelona per a usos lúdics.
- Recuperació ambiental de la llera del riu Llobregat en els seus darrers quilòmetres, molt malmesos pels abocaments d'aigües residuals sense depurar.
- Millora de la qualitat de les aigües del port de Barcelona.
- Millora de la qualitat de l'aigua dels aqüífers del Llobregat en suprimir la càrrega contaminant al medi.

A la Taula 3.1 es resumeixen les dades tècniques bàsiques de l'EDAR.

Gestió

L'Entitat del Medi Ambient (EMA- EMSHTR) gestiona la depuradora del Baix Llobregat a través de l'empresa pública EMSSA.

La construcció de la depuradora va costar 150 milions d'euros. A aquest pressupost cal afegir-hi el cost de les obres dels col·lectors, pluvials i estacions de bombeig associats al sistema. L'import total ascendeix a 240 milions d'euros a finançar entre l'Estat Espanyol (85%) i l'Agència Catalana de l'Aigua (15%). L'aportació estatal prové dels fons de cohesió europeus. Tenint en compte el gran desenvolupament urbanístic i la significativa implantació industrial a la zona, l'EDAR del Baix Llobregat ha continuat millorant les

seves instal·lacions. La gestió de les obres s'ha dut a terme mitjançant l'empresa pública Depurbaix SA. A la Taula 3.2 s'hi troben les dades bàsiques de la gestió de l'EDAR i a la Taula 3.3, les dades de la seva construcció.

Taula 3.1Dades tècniques bàsiques de l'EDAR del Baix Llobregat (Font: Entitat del Medi Ambient (EMA)-EMSHTR, 2008).

Dades tècniques bàsiques	
Funcions	Tractament de les aigües residuals
Cabal de disseny (capacitat de tractament)	420.000 m^3/dia en una primera fase
Capacitat de tractament (càrrega contaminant)	2.000.000 habitant equivalents
Tipus de tractament	Biològic
Cabal màxim de futur	630.000 m^3/dia
Cabal de pretractament	14,58 m^3/segon
Cabal de reutilització	3,25 m^3/segon
Tipus de tractaments de fangs	Digestió anaeròbia amb cogeneració, deshidratació i assecatge tèrmic

Taula 3.2 Dades bàsiques de gestió de l'EDAR del Baix Llobregat (Font: Entitat del Medi Ambient (EMA)-EMSHTR, 2008).

Dades bàsiques de gestió	
Propietat	EMA- EMSHTR
Empresa explotadora	EMSSA
Adreça postal instal·lació	Carrer 100, s/n, Polígon Pratenc.
Municipi	El Prat de Llobregat
Superfície	36 ha; es disposa d'una reserva de terrenys en cas que en el futur sigui necessari ampliar la planta.
Any de posada en marxa	2002
Any de posada en marxa de les instal·lacions de tractament biològic de les aigües residuals i les instal·lacions per al tractament de fangs amb digestió anaeròbia i assecatge tèrmic	2003
Municipis als quals dóna servei	Barcelona (35%), Hospitalet de Llobregat, Cornellà de Llobregat, Esplugues de Llobregat, Sant Joan Despí, Sant Boi de Llobregat, el Prat de Llobregat, Santa Coloma de Cervelló i, parcialment, Sant Just Desvern.

Taula 3.3 Dades de la construcció de l'EDAR del Baix Llobregat (Font: Entitat del Medi Ambient (EMA)-EMSHTR, 2008).

Dades de la construcció	
Cost total	240 milions d'euros (1a fase) i 60 milions d'euros (2a fase).
Finançament	Estat espanyol (85%) i Agència Catalana de l'Aigua (ACA) (15%). L'aportació estatal prové dels fons de cohesió europeus.

Processos

A la Figura 3.3 es pot apreciar la línia de l'aigua de l'EDAR (els números entre parèntesi són per situar els processos). La línia de l'aigua comença per les 8 línies de pretractament (1) (Agència Catalana de l'Aigua, 2008b), amb extracció de gruixuts, desbast i desarenador–desgreixador. El tractament primari consisteix en un decantador (2) i el

secundari és un tractament biològic de fangs activats amb eliminació de nitrogen (3) i una decantació secundària (4). Actualment, aproximadament el 30% de l'aigua que surt del tractament secundari s'envia al tractament terciari després de passar per una bassa d'emmagatzematge (5) i es reutilitza. El tractament terciari (6) consta de tractament físico-químic, filtració i desinfecció amb ultraviolats (UV) i clor. Per tant, un 70% de l'aigua depurada, aproximadament, s'envia al mar a través de l'emissari submarí (7).

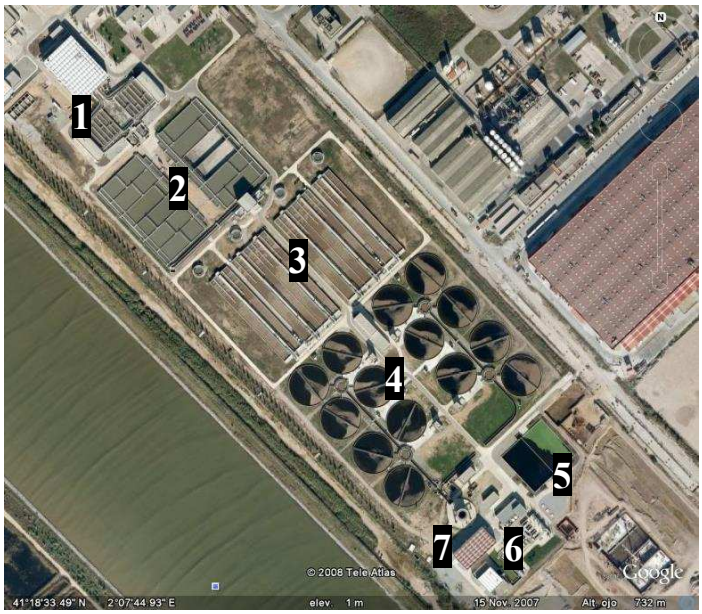

Figura 3.3 Processos de la línia de l'aigua de l'EDAR del Baix Llobregat (Font: Google Earth, 2008).

A la Figura 3.4 es veu la línia de fangs (els números entre parèntesi són per situar els processos). La línia de fang tracta una mescla de fang primari i secundari. L'espessiment del fang primari es duu a terme per gravetat (1) i el del fang secundari per centrífugues (2). La digestió anaeròbia és mesofílica a 38 ºC (3), els digestors no tenen aïllament tèrmic i tenen recirculació interna de fangs. El biogàs es recull en gasòmetres (4) i s'aprofita energèticament mitjançant motors de cogeneració (5), a les calderes per escalfar l'oli per l'assecatge tèrmic i per a l'agitació interna del digestor (3). La deshidratació del fang és per centrífugues (6) i amb la prèvia addició d'un polielectrolit com a condicionament químic. Finalment, el fang s'asseca tèrmicament (7). El fang deshidratat que surt de la planta és destinat a l'ús agrícola i el fang assecat es fa servir en forns de cimenteres, majoritàriament, i en agricultura.

Cal afegir que tota la planta consta de 6 bombaments (Agència Catalana de l'Aigua, 2008b).

Funció

Les funcions del sistema són depurar l'aigua residual que arriba a l'entrada del sistema i tractar els fangs que es produeixen en la depuració de l'aigua. Es podria dir que l'única funció del sistema és depurar l'aigua residual, ja que el fang és un residu de la depuració i el seu tractament estaria inclòs en el cicle del tractament de l'aigua residual. Però la part del cicle que s'estudia amb més detall és la línia de tractament de fangs, per tant, s'agafarà com a funció principal el tractament del fang per poder definir la unitat funcional.

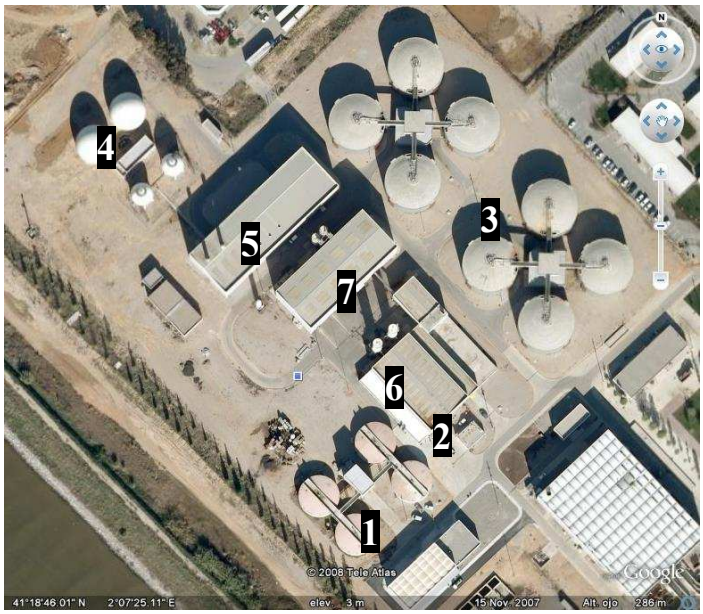

Figura 3.4 Processos de la línia de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat (Font: Google Earth, 2008).

3.1.3.2 Unitat funcional

La unitat funcional del sistema a estudiar és el tractament de 100 m^3 de fang espessit al dia, durant un període de temps d'un dia. Per tant, els resultats de les categories d'impacte faran referència a l'impacte que genera el funcionament del sistema en un dia.

A l'hora de determinar aquesta unitat funcional s'ha tingut en compte que es vol posar especial interès en l'avaluació de l'impacte de la línia de fangs, per això s'ha triat un cabal diari de fang. A més, es considera que és una unitat de dimensions entenedores (unitat diària, ni massa gran, ni massa petita) i que serà útil per comparacions amb altres sistemes.

3.1.3.3 Límits del sistema

Per descriure el sistema s'utilitza un diagrama de flux de processos que mostra els processos unitaris i les seves interrelacions (veure Figura 3.5). Els elements que apareixen marcats amb una creu queden fora dels límits del sistema.

El sistema comença amb l'entrada de l'aigua residual a l'estació depuradora i acaba amb la sortida de l'aigua depurada (amb diferents nivells de depuració), del fang deshidratat i del fang assecat tèrmicament.

No es tindrà en compte l'impacte del transport de l'aigua residual fins la planta per mitjà de col·lectors i bombes, ni de la construcció del sistema de recol·lecció, ni de la fabricació dels seus materials, ja que l'interès d'aquest estudi se centra eclusivament en l'efecte de la planta sobre el medi.

No es contempla el transport i la distribució del fang deshidratat i de l'assecat un cop surten de la planta, ni l'impacte que aquests generen al seu destí final (ús agrícola pel primer i forn de cimentera o ús agrícola pel segon).

No es té en compte l'impacte de l'abocament al mar de l'aigua depurada (tampoc es contempla el funcionament de l'emissari submarí), ni de l'efluent del tractament terciari, ni

del de l'osmosi. Tampoc es considerarà l'impacte del tractament i disposició final dels residus de la línia de l'aigua diferents al fang (gruixuts, fins, sorres i greixos, i sorra bruta del físico-químic), ni de la línia de fangs (oli residual de les calderes per l'assecatge tèrmic i aigua residual del circuit de l'intercanviador de calor pel digestor).

Dins l'EDAR, es contempla l'operació de la planta. No es considera l'energia ni els recursos naturals necessitats per construir-la. Tampoc es tindrà en compte el manteniment ni el desmantellament de la planta al final de la seva vida, perquè es considera que l'impacte provocat pel manteniment d'un dia i el corresponent (en un dia) al desmantellament final d'una EDAR serien menyspreables davant l'impacte d'operació. Per exemple, el canvi de discs de la filtració del tractament terciari, la neteja de la planta, etc. es considera manteniment, i per això no es tindrà en compte.

Pel que fa a l'operació de la planta es consideraran els següents processos i fluxes:

- Per tots els processos unitaris es quantificaran els fluxes d'entrada i sortida d'aigua (potable i residual), de fang, d'emissions d'efecte hivernacle a l'atmosfera i altres que generen altres impactes, de residus, de reactius, de recursos energètics (gas natural i electricitat).
- L'ús d'aigua potable (circuits de recirculació d'aigua per escalfar el fang, edificis de control) només comptabilitzarà en la reducció de recursos (no es tindrà en compte l'impacte del trasport fins la planta ni el de la construcció del sistema d'abastament).
- El transport de l'aigua residual i del fang dins de la planta es comptabilitza com a consum d'energia elèctrica.
- Pel que fa a l'ús de reactius, altres productes addicionals i gas natural, només es contemplarà la reducció de recursos naturals que representa l'extracció de matèries primeres. No es contemplarà l'impacte de la seva fabricació, ni del transport fins la planta.
- Pel que fa als consums d'energia elèctrica (planta i edificis de control), es contemplarà la reducció de recursos energètics que representa i l'emissió de CO_2 degut a la seva generació fora de la planta, però no es contemplarà l'impacte del seu transport fins la planta.
- Es tindran en compte els aprofitaments energètics del biogàs (agitació del digestor, calderes per esclafar oli i motor de cogeneració) i dels excedents de calor (la calor de la culata del motor de cogeneració s'aprofita per escalfar el fang de digestió). També es consideraran les reutilitzacions de les sorres per la filtració terciària, de l'aigua del circuit de l'intercanviador de calor pel digestor i de l'oli de les calderes per l'assecatge tèrmic.
- Es contempla l'efecte de les recirculacions d'aigua resultants dels processos per reduir la quantitat d'aigua del fang i com a destí la capçalera de l'EDAR.
- No es compta l'impacte dels residus i l'aigua residual generada als edificis de control.

Cal mencionar que no es tindrà en compte cap criteri d'exlcusió (massa, energia, importància ambiental) a l'hora de decidir quines entrades s'inclouen a l'avaluació, és a dir, es tindran en compte totes les dades possibles.

3.1.3.4 Procediments d'assignació

No es tindran problemes d'assignació perquè tots els processos unitaris del sistema tenen una única funció i produeixen un sol producte i residus.

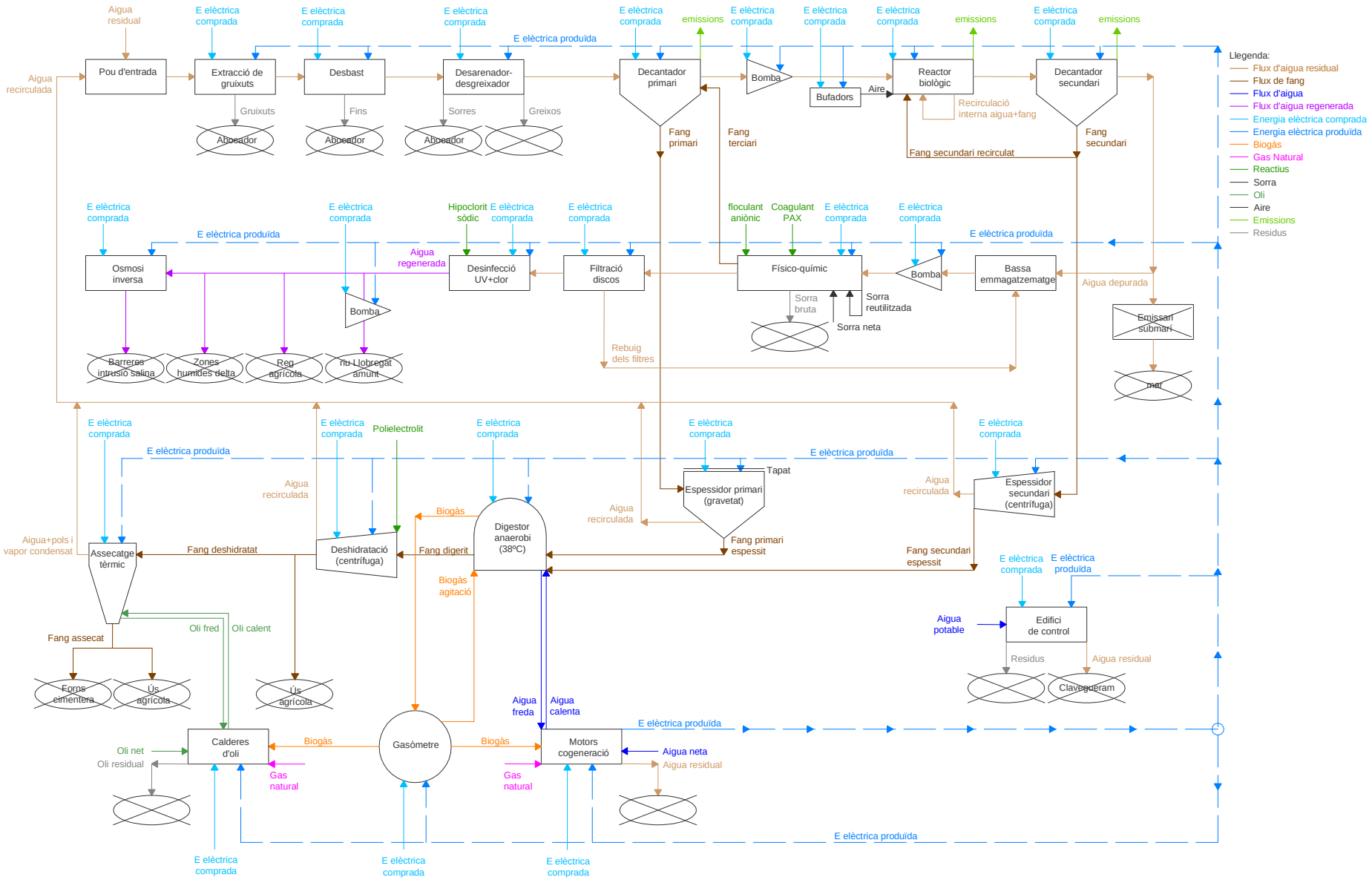

Figura 3.5 Diagrama de flux dels processos de l'EDAR del Baix Llobregat que queden dins dels límits del sistema.

3.1.3.5 Categories d'impacte

Abans de definir les categories d'impacte, es definiran els possibles impactes sobre el medi que té l'operació d'una EDAR.

Tipus d'impacte

Reducció de recursos

Es considerarà la reducció de recursos que representa l'ús de gas natural, l'ús d'aigua potable, l'ús d'energia i l'ús de reactius o productes addicionals com la sorra pel tractament terciari de l'aigua.

L'aire injectat pels bufadors al reactor de la línia de l'aigua no es compta com a ús de matèria primera, perquè retorna al medi en forma d'altres gasos que no comptabilitzen en l'efecte hivernacle.

Ocupació del sòl i pèrdua de la biodiversitat

Pel sol fet d'ocupar una part de terreny, immediatament es produeixen una sèrie d'impactes en haver-hi tanta zona asfaltada, com per exemple, la disminució de la crescuda i generació de plantes i arbres, amb la conseqüent pèrdua de suport per la vida i de biodiversitat.

Efecte hivernacle

Els gasos que causen l'efecte hivernacle a causa de la seva concentració a l'atmosfera són:

- Diòxid de carboni (CO_2)
- Metà (CH_4)
- Òxid de dinitrogen (N_2O)
- Cloro-fluoro-carbons (CFC)
- Ozó troposfèric (O_3)

D'aquests cinc, a les depuradores se'n formen tres: CO_2, CH_4 i N_2O.

El CO_2 es genera en diferents punt de les EDARs:

- Al reactor biològic, degut a la degradació per part dels microorganismes de la matèria orgànica present a les aigües residuals.
- Al digestor, degut a la degradació de la matèria orgànica amb l'ajuda de microorganismes i en absència d'oxigen, formant part del biogàs.
- El que prové del consum d'energia elèctrica i/o combustibles.

El CO_2 emès que prové dels processos biològics (oxidació de la matèria orgànica) no es té en compte com a impacte, perquè el seu origen és el CO_2 fixat per les plantes.

La quantitat de CO_2, que prové del digestor, emesa a l'atmosfera és la suma del CO_2 generat en la reacció de combustió del CH_4 contingut al biogàs (en cas de que es cremi el biogàs) més el CO_2 que forma part del biogàs. A la combustió del biogàs, el CO_2 es comporta com un gas inert, de manera que tot el CO_2 surt a l'atmosfera sense reaccionar. La reacció de combustió del metà ve representada per l'expressió 3.1.

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \quad (3.1)$$

A la planta del Baix Llobregat el biogàs es recull i s'aprofita energèticament mitjançat els motors de cogeneració i les calderes d'oli, és a dir, que no es crema el biogàs en una torxa. El biogàs serveix de combustible i el CO_2 emès no comptabilitza com a gas d'efecte hivernacle, perquè prové de la degradació de la metèria orgànica. Si no es cremés el biogàs, el CH_4 emès sí que comptaria per l'efecte hivernacle, ja que les plantes no fixen CH_4.

La quantitat de CO_2 emès a l'atmosfera com a conseqüència del consum d'energia elèctrica és la més important. L'emissió es produeix en la generació de l'energia elèctrica fora de la planta. La producció d'1 MJ d'electricitat a Espanya (any 2000) genera una mitjana de 131 g CO_2 (Xarxa Temàtica Catalana d'ACV, 2002).

El CH_4 es forma en la degradació de matèria orgànica es condicions anaeròbies. Per tant, es genera, principalment, en el digestor anaerobi, però no s'emet a l'atmosfera ja que s'aprofita energèticament.

El N_2O emès al reactor biològic representa el 0,1 – 0,4% de l'oxidació del NH_4^+ (Tallec *et al.,* 2006).

Contaminació per emissions gasoses

Les emissions que es produeixen a l'espessidor per gravetat del fang primari no provoquen cap impacte, perquè es troba tapat i no surten a l'atmosfera. Principalment s'emet H_2S, que es recull i es desodoritza.

Al reactor biològic es desprèn N_2 degut al procés de nitrificació – desnitrificació.

Smog fotoquímic

Els compostos orgànics volàtils (COVs), generats al decantador primari, al decantador secundari i al reactor biològic, són causants del smog fotoquímic. L'smog fotoquímic és un dels majors problemes de contaminació atmosfèrica a escala local i regional. Es caracteritza per la presència de vapors irritants que dificulten la visibilitat i està associat a determinades emissions urbanes i a determinades condicions atmosfèriques.

Contaminació d'aigües subterrànies

L'activitat de la planta depuradora pot provocar la contaminació de les aigües subterrànies. Es considerarà el cas ideal en què no hi ha fugues d'aigua residual ni vessaments de fangs.

Contaminació acústica i olors

Es vol comptabilitzar l'impacte del soroll i les olors generades per la EDAR

Categories d'impacte

Considerant els impactes que es volen tenir en compte, es presenten a la Taula 3.4 les categories d'impacte que es podrien considerar en aquest ACV, així com la seva escala

geogràfica d'afectació i la guia que se seguirà per determinar els mètodes d'avaluació de l'impacte del cicle de vida. Les categories d'impacte es descriuen amb més detall a l'Apartat 3.3 Avaluació de l'impacte ambiental del cicle de vida (AICV).

Taula 3.4 Categories d'impacte (Adaptat de: Guinée *et al.,* 2002 i Audsley, 1997).

Categoria d'impacte		**Escala geogràfica**	**Mètode utilitzat**
Esgotament de recursos abiòtics	ERA	Global	CML 2 baseline
Ús del sòl	US	Local	CML 2 baseline
Canvi climàtic	CC	Global	CML 2 baseline
Esgotament de l'ozó estratosfèric	ODI	Global	CML 2 baseline
Formació d'oxidants fotoquímics	FOF	Continental/regional/local	CML 2 baseline
Acidificació	Ac	Continental/regional/local (2)	CML 2 baseline
Eutrofització	Eu	Continental/regional/local	CML 2 baseline
Toxicitat humana	Th	Continental/regional/local (1)	CML 2 baseline
Eco-toxicitat	ET	Continental/regional/local (1)	CML 2 baseline
Olor	O	Local	CML 2 baseline
Soroll	S	Local	CML 2 baseline

(1) En cas de que es faci servir l'indicador d'Audsley (1997), l'escala geogràfica seria Global.

(2) En cas de que es faci servir l'indicador de TEAM (1999), l'escala geogràfica seria Global.

S'ha triat la guia CML 2 baseline (Guinée *et al.*, 2002) per avaluar totes les categories d'impacte perquè segueix les indicacions de les normes ISO i contempla totes les categories que es vol tenir en compte. A més, hi ha una versió prèvia i gratuïta per internet fàcil de consultar (Guinée *et al.,* 2001).

3.1.3.6 Fonts de dades i requisits de qualitat de les dades

En la mesura del possible, les dades procediran del context català i d'un període de temps recent (últims 5 anys). Es treballarà amb dos tipus de dades: les de camp o mesurades, i les de la bibliografia. Les dades de camp són facilitades per l'EDAR del Baix Llobregat, situada al Prat de Llobregat i que depura aigües de l'àrea metropolitana de Barcelona, corresponents a l'any 2008. Les dades que no siguin facilitades per l'EDAR es buscaran a la bibliografia disponible i es procurarà que compleixin els requisits geogràfics (territori català) i de temps (últims 5 anys).

Es pretén fer un estudi amb dades corresponents a una tecnologia moderna. La tecnologia usada en la línia de l'aigua i en el tractament de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat té una antiguitat de 7 anys (desde la posada en marxa de la planta), pel que es considera que la seva tecnologia és moderna.

Les dades han de ser precises i íntegres. La precisió i la integritat (percentatge del flux que s'ha mesurat o estimat) de les dades dependrà de les mesures que es duguin a terme a l'EDAR. Les dades obtingudes de la bibliografia seran dades mitjanes teòriques.

Les dades han de ser representatives. Les dades facilitades per l'EDAR són representatives perquè reflecteixen la situació real. Es procurarà que les dades de la bibliografia siguin el més representatives possible.

Les dades han de ser coherents. La coherència de les dades facilitades per l'EDAR s'estudiarà a l'Apartat 3.2.2.1 de la fase de l'inventari del cicle de vida (ICV). S'accepta que les dades extretes de la bibliografia són coherents.

La reproducibilitat de les dades va lligada al seu origen. Les dades facilitades per l'EDAR són dades reals de l'EDAR del Baix Llobregat i, per tant, no tindria sentit fer-les servir en altres estudis diferents al d'aquesta planta. Les dades de la bibliografia són mitjanes teòriques i es podrien fer servir en altres estudis, sempre i quan complissin amb els requeriments de qualitat de les dades.

Quan les dades no siguin proporcionades per l'EDAR, s'indicarà la seva procedència o font.

S'indicaran totes les suposicions que es facin en el desenvolupament de l'estudi.

3.1.3.7 Limitacions

La pricipal dificultat, i per tant limitació, que es presentarà a l'hora de realitzar aquest estudi és la recopilació de dades i la transformació de les dades obtingudes en dades que es puguin aprofitar per avaluar les categories d'impacte. Els motius d'aquesta limitació pràctica són la manca de medis per aconseguir certes dades i el requeriment temporal que suposaria recollir totes les dades necessàries per a realitzar un ACV complet.

Aquesta limitació és el factor determinant a l'hora de definir els límits del sistema i provoca que s'hagin d'eliminar processos o parts del cicle de vida de la depuració d'aigües residuals que seria interessant estudiar per obtenir un resultat més global.

De la mateixa manera, la dificultat d'aconseguir certes dades pot provocar que no es puguin estudiar alguns impactes que es volien considerar inicialment.

3.1.3.8 Tipus de revisió crítica

No hi haurà revisió crítica perquè l'estudi ACV no serà usat en asseveracions comparatives de divulgació al públic.

3.1.3.9 Tipus i format de l'informe

L'informe prendrà com a base les indicacions de les normes UNE-EN ISO 14040:2006 i 14044:2006 i s'estructurarà en les quatre fases que té un Anàlisi del cicle de vida.

3.2 ANÀLISI DE L'INVENTARI DEL CICLE DE VIDA (ICV)

3.2.1 Recopilació de dades

Tal i com s'ha mencionat en la definició de l'objectiu i l'abast, les dades que s'usaran són:

- Dades de camp facilitades per l'EDAR del Baix Llobregat, situada al Prat de Llobregat i que depura aigües de l'àrea metropolitana de Barcelona, corresponents a l'any 2008. Aquestes compleixen els requisits de temps, geografia, tecnologia i reproducibilitat.

- Dades mitjanes de la bibliografia. Es procurarà que compleixin tots els requisits de les dades i s'indicarà d'on provenen.

3.2.1.1 Dades de l'EDAR del Baix Llobregat.

Coneixent el sistema a estudiar, els seus límits, els processos unitaris que es volen considerar i els impactes que es volen tenir en compte, i després d'una primera visita tècnica a la planta, s'elabora una taula excel per recollir les dades que poden ser d'interès per a la realització de l'ACV. Aquest full d'excel s'envia a la planta depuradora del Baix Llobregat i allà serà complimentada amb les dades anuals del 2008 de què disposen. Aquestes dades es poden trobar a l'Annex 2.

Per tal de facilitar la comprensió del sistema del producte a modelar s'han elaborat una sèrie de diagrames de flux dels processos unitaris a modelar, on es poden apreciar les interrelacions, les entrades i sortides i les unitats utilitzades. Aquests diagrames es poden trobar a l'Apartat 3.2.4 de resultats de l'ICV, complimentats amb els resultats obtinguts a la finalització de la fase d'anàlisi de l'inventari del cicle de vida (ICV) de l'EDAR del Baix Llobregat, per tant, els valors que hi apareixen ja estan relacionats amb la unitat funcional.

3.2.2 Càlcul de les dades

3.2.2.1 Validació de les dades recopilades

Les dades facilitades per l'EDAR del Baix Llobregat compleixen els requisits de temps, geografia, tecnologia i representativitat definits dins la qualitat de les dades.

A continuació s'estudia la validesa de les dades. Revisant les taules de dades facilitades per l'EDAR del Baix Llobregat s'han trobat les següents incongruències, que també s'han fet constar a les taules de dades de l'Annex 2 en forma de comentaris al peu de la taula corresponent.

- La suma del consum energètic global de l'EDAR, que prové de la cogeneració i de la compra, és de 54.520.453 kWh/any, per tant, és lleugerament superior al consum energètic global de l'EDAR mesurat (54.485.963 kWh/any). Es considerarà que el consum energètic global de l'EDAR és de 54.520.453 kWh/any (Taules 2.1 i 2.3 de l'Annex 2).
- El percentatge que prové de la cogeneració es pot calcular amb el consum global de l'EDAR i la quantitat d'energia que prové de la cogeneració, i és del 48% (aquest percentatge és el que es farà servir per la resta dels processos tot i que no coincideix exactament amb el valor aproximat que dóna l'EDAR del Baix Llobregat, que és del 50%) (Taules 2.1 i 2.3 de l'Annex 2). A l'hora de fer els càlculs es tindran en compte els decimals del percentatge calculat.
- El cabal total reutilitzat del mes de desembre (2.322.753 m^3/mes) no coincideix amb la suma de les 5 reutilitzacions del mes de desembre (2.361.597 m^3/mes). La diferència és el cabal que va a osmosis al mes de desembre, per tant, es considerarà que el cabal total reutilitzat del mes de desembre és de 2.361.597 m^3/mes. Per tant, el cabal total reutilitzat anual serà de 28.635.206 m^3/any (Taula 2.2 de l'Annex 2). Aquest canvi també afectarà al cabal d'aigua de sortida de l'EDAR (el que va al mar), ja que aquest valor es calcula amb la diferència entre el cabal d'aigua que entra i el cabal d'aigua que es reutilitza, per tant, el cabal d'aigua que s'envia al

mar a través de l'emissari submarí serà de 68.906.223 m^3/any (Taula 2.1 de l'Annex 2).

- La quantitat anual de fang espessit secundari facilitada per l'EDAR del Baix Llobregat (1.894.515 m^3/any) no té sentit perquè és molt superior a la que surt del digestor (469.489 m^3/any), per tant, es considerarà errònia i es calcularà a l'apartat següent (Taula 2.3 de l'Annex 2).
- La resposta de la pregunta número 4 de la Taula 2.4 de l'Annex 2: *Quina proporció de fang primari i secundari es barreja per anar a la digestió? 70% primari, 30% biològic,* no es correspon als mateixos percentatges expressats a la Taula 2.9 del mateix annex, 61% primari, 39% secundari. Els primers podrien ser percentatges en volum i els segons en matèria seca, de totes formes, es prendran com a correctes els valors de 61% primari, 39% secundari (percentatges en quantitat de matèria seca).
- A la Taula 2.8 de l'Annex 2 hi ha dos valors diferents pel paràmetre SSTV (%) del fang digerit. Es prendrà com a valor correcte la mitjana dels dos: 54,02%.

3.2.2.2 Càlcul de les dades que falten

Un cop validades les dades de camp, es fa ús del càlcul per trobar les dades que manquen. Per fer aquests càlculs calen una sèrie de dades addicionals que s'obtenen de la bibliografia. Aquestes dades són acceptables pel que fa als requisits de les dades, ja que les fonts de què s'han extret es mouen en un període de temps del 1999 al 2008 (menys de deu anys d'antiguitat, quan els requisits demanen 5 anys d'antiguitat) i són fonts bibliogràfiques fiables. La procedència de totes les dades addicionals s'indicarà en el moment en que es facin servir.

A l'hora de fer els càlculs s'han tingut en compte els valors amb tots els decimals facilitats per l'EDAR del Baix Llobregat.

Càlcul dels cabals de fang dels quals manquen dades de camp i resultats finals de cabals de fang

L'EDAR del Baix Llobregat no disposa de cabalímetres a les sortides de fang de la línia de l'aigua, ni a la sortida de l'espessidor de fang primari. Tampoc disposa de les dades de cabal d'entrada al digestor, a la deshidratació i a l'assecatge tèrmic. A més, el cabal anual de fang que surt de l'espessidor de fang secundari facilitat per l'EDAR del Baix Llobregat (1.894.515 m^3/any) és incorrecte, perquè és molt superior al que surt del digestor (469.489 m^3/any).

En definitiva, cal calcular les dades que falten per tal de completar la Taula 3.5. També es farà un canvi d'unitats de la quantitat de fang assecat tèrmicament per tenir uniformitat en les unitats. Els números entre parèntesi que apareixen a la Taula 3.5 indiquen l'ordre en que s'han calculat les dades que falten.

Cabal de fang d'entrada al digestor

Es considera que el cabal de fang que entra al digestor és igual al que surt, per tant, el cabal d'entrada al digestor és de 469.489 m^3/any **(1)**.

Taula 3.5 Dades anuals (2008) de la línia de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat facilitades per la pròpia EDAR.

LÍNIA DE FANGS			
Concepte	**Valor**		**Unitats**
CABALS			
FANG	**Entrada**	**Sortida**	**Unitats**
Espessidor fang primari (gravetat) [1]	**(4)**	**(3)**	
Espessidor fang secundari (centrífuga) [a]	**(5)**	**(2)** 1.894.515	m^3/any
Digestor	**(1)**	469.489	m^3/any
Deshidratació (centrífuga) [2]	**(6)**	61.117	m^3/any
Assecatge tèrmic	**(7)**	**(8)** 13.121	t/any

Comentaris que fa l'EDAR del Baix Llobregat sobre les dades que facilita:

[1] No hi ha cabalímetre per mesurar el fang primari que surt de la línia d'aigües, per tant, se'n desconeix el volum.

[2] Part del fang deshidratat surt fora de la planta i no s'asseca tèrmicament.

Aclariments:

[a] No té sentit que surti més fang de l'espessidor secundari que del digestor, per tant, s'entendrà que aquesta dada (1.894.515 m^3/any) és incorrecta.

Cabals de fang de sortida dels espessidors

Es presenten dues formes diferents de calcular els cabals de sortida dels espessidors, primari i secundari, essent la segona la definitiva.

La primera es basa en la quantitat anual de matèria seca de fang fresc i les dades dels SST, facilitades per l'EDAR del Baix Llobregat, i que es recullen a la Taula 3.6.

Taula 3.6 Dades de l'EDAR del Baix Llobregat (2008) necessàries per fer el càlcul dels cabals de sortida dels espessidors, facilitades per la pròpia EDAR.

Dada	Valor	Unitat
Fang biològic fresc	9.606.679	kg de matèria seca anual
Fang primari fresc	14.906.405	kg de matèria seca anual
SST del fang secundari espessit	4,63	%
SST del fang primari espessit	5,91	%

Segons la bibliografia, la densitat dels fangs espessits varia entre 1006 i 1010 kg/m^3 pel fang primari i entre 1003 i 1010 kg/m^3 pel fang secundari (Sperling i Andreoli, 2007). Aquestes dades són dades mitjanes teòriques i tenen una antiguitat de 5 anys, per tant, es consideren acceptables pel que fa al requeriment de qualitat de les dades.

Es farà servir una densitat de 1008 kg/m^3 pel fang primari espessit i una densitat de 1005 kg/m^3 pel fang secundari espessit.

Per tant, la quantitat anual de fang secundari espessit es calcula segons l'expressió 3.2 i és de:

$$9606679 kgMS_{biològic} \cdot \frac{100 kgFANG_{biològic}}{4.63 kgMS_{biològic}} \cdot \frac{1 m^3 FANG_{biològic}}{1005 kgFANG_{biològic}} = 206426 m^3 FANG_{biològic} \quad (3.2)$$

i la quantitat anual de fang primari espessit es calcula segons l'expressió 3.3 i és de:

$$14906405 kgMS_{primari} \cdot \frac{100 kgFANG_{primari}}{5.91 kgMS_{primari}} \cdot \frac{1 m^3 FANG_{primari}}{1008 kgFANG_{primari}} = 250193 m^3 FANG_{primari} \quad (3.3)$$

La suma dels dos és de 456.619 m^3 fang mixt espessit/any, que és lleugerament inferior al cabal de fang de sortida del digestor de l'EDAR del Baix Llobregat (469.489 m^3/any), per tant, no es pot donar com a vàlida, ja que no compleix la suposició de que els cabals d'entrada i sortida del digestor són iguals.

La segona opció de càlcul considera el cabal d'entrada al digestor i la quantitat anual de matèria seca que hi entra (veure Taula 3.7), a més de les densitats i dels SST corresponents i mencionats anteriorment.

Taula 3.7 Dades de l'EDAR del Baix Llobregat (2008) necessàries per fer el càlcul dels cabals de sortida dels espessidors, facilitades per la pròpia EDAR.

Dada	Valor	Unitat
Cabal de fang de sortida del digestor	469.489	m^3/any
Cabal de matèria seca mixta abans de digerir	24.513.083	kg de matèria seca anual

Es considera que el cabal de fang que entra i surt del digestor és constant i es defineix:

x (m^3/any) = cabal de fang primari espessit,

y (m^3/any) = cabal de fang secundari espessit,

Per tant, segons les expressions 3.4: (3.4)

$$x + y = 469489 m^3 / any \Rightarrow y = 469489 - x$$

$$x\left(\frac{m^3}{any}\right) \cdot \frac{1008 kgFANG_{primari}}{1 m^3 FANG_{primari}} \cdot \frac{5{,}91 kgMS_{primari}}{100 kgFANG_{primari}} + y\left(\frac{m^3}{any}\right) \cdot \frac{1005 kgFANG_{\sec undari}}{1 m^3 FANG_{\sec undari}} \cdot \frac{4{,}63 kgMS_{\sec undari}}{100 kgFANG_{\sec undari}} = 24513083 kgMS_{mixt}$$

$$59{,}57 \cdot x + 21849172{,}98 - 46{,}54 \cdot x = 24513083$$

$$13{,}04 \cdot x = 2663910{,}02$$

$$x = 204267 m^3 FANG_{primari} / any$$

$$y = 265222 m^3 FANG_{\sec undari} / any$$

Fent el càlcul d'aquesta manera, el % en matèria seca de fang mixt provinent del fang primari i el % de matèria seca de fang mixt provinent del fang secundari no coincideixen amb els valors facilitats per l'EDAR (61% i 39% respectivament, com es pot veure a la Taula 2.9 de l'Annex 2). De totes maneres, es donarà el càlcul per bo ja que aquests dos valors de la depuradora són una mitja dels 12 mesos de l'any.

Per tant, el cabal anual de fang biològic espessit és de 265.222 m^3/any **(2)** i el de fang primari espessit és de 204.267 m^3/any **(3)**.

Cabals de fang d'entrada als espessidors

Per calcular el cabal d'entrada als espessidors es prenen les dades facilitades per l'EDAR del Baix Llobregat: els 14.906.405 kg de matèria seca anual de fang primari i els 9.606.679 kg de matèria seca anual de fang secundari. Es considerarà que el fang primari sense espessir té un contingut de SST d'un 3% i que el fang secundari (fangs activats) sense espessir té una SST d'1%, mentre que la densitat del fang primari sense espessir serà de 1005 kg/m^3 i la del fang secundari sense espessir serà de 1001 kg/m^3 (Sperling i Andreoli, 2007). Aquestes dades són dades mitjanes teòriques i tenen una antiguitat de 5 anys, per tant, es consideren acceptables pel que fa al requeriment de qualitat de les dades.

Per tant, segons les expressions 3.5 i 3.6, la quantitat anual de fang sense espessir que es tracta és de:

$$14906405 kgMS_{primari} \cdot \frac{100 kgFANG_{primari}}{3 kgMS_{primari}} \cdot \frac{1 m^3 FANG_{primari}}{1005 kgFANG_{primari}} = 494408 m^3 FANG_{primari} \quad \textbf{(4)} \qquad (3.5)$$

$$9606679 kgMS_{biològic} \cdot \frac{100 kgFANG_{biològic}}{1 kgMS_{biològic}} \cdot \frac{1 m^3 FANG_{biològic}}{1001 kgFANG_{biològic}} = 959708 m^3 FANG_{biològic} \quad \textbf{(5)} \qquad (3.6)$$

Cabal de fang d'entrada a la deshidratació

El cabal de fang que es deshidrata és igual al cabal de fang que surt del digestor, és a dir: 469.489 m^3/any **(6)**.

Cabal de fang d'entrada a l'assecatge tèrmic

De tot el fang que es deshidrata hi ha una part que es destina a l'agricultura. D'acord amb la pròpia depuradora del Baix Llobregat (pregunta 8 de la Taula 2.4 de l'Annex 2), 14.342 t MF/any de fang deshidratat surten de la planta en camions i s'usen en agricultura. Matèria fresca (MF), en el cas del fang deshidratat, vol dir matèria amb el 25% de sequedat, aproximadament. Es pren 1075 kg/m^3 com a densitat del fang deshidratat (Sperling i Andreoli, 2007). Aquestes dades són dades mitjanes teòriques i tenen una antiguitat de 5 anys, per tant, es consideren acceptables pel que fa al requeriment de qualitat de les dades. Per tant, segons l'expressió 3.7, la quantitat anual de fang deshidratat que s'usa en agricultura serà:

$$14342 tMF_{deshidratat} \cdot \frac{1 m^3 FANG_{deshidratat}}{1{,}075 tMF_{deshidratat}} = 13341 m^3 FANG_{deshidratat} \qquad (3.7)$$

I, segons l'expressió 3.8, la quantitat anual de fang deshidratat que s'asseca tèrmicament serà:

$$61117 m^3 FANG_{deshidratatTOTAL} - 13341 m^3 FANG_{deshidratatAGRICULTURA} = 47776 m^3 FANG_{deshidratatASSECATGE} \textbf{(7)} \quad (3.8)$$

Cabal de sortida de l'assecatge tèrmic

Per tal de treballar sempre amb les mateixes unitats, es farà un canvi d'unitats pel cabal de sortida de l'assecatge tèrmic, per tant, cal considerar la densitat del fang assecat. Segons la Taula 2.8 de l'Annex 2, el fang assecat té un percentatge de MS de 87,14%. Segons Fernandes (1999) es pot considerar una densitat de 1010 kg/m^3. Aquesta dada és una dada mitjana teòrica i té una antiguitat de 10 anys, per tant, es considera acceptable pel que fa al requeriment de qualitat de les dades.

Segons l'expressió 3.9, la quantitat anual de fang assecat en m^3 serà:

$$13121 t FANG_{as\sec at} \cdot \frac{1 m^3 FANG_{as\sec at}}{1{,}010 t FANG_{as\sec at}} = 12991 m^3 FANG_{as\sec at} \textbf{(8)} \quad (3.9)$$

Resultats finals dels cabals de fang

Amb tot, les dades de cabals de fangs queden completades com s'indica a la Taula 3.8.

Taula 3.8 Cabals de fang de la línia de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat.

LÍNIA DE FANGS			
Concepte	**Valor**		**Unitats**
CABALS			
FANG	**Entrada**	**Sortida**	**Unitats**
Espessidor fang primari (gravetat) (1)	494.408*	204.267 *	m^3/any
Espessidor fang secundari (centrífuga) (7)	959.708*	265.222*	m^3/any
Digestor	469.489*	469.489	m^3/any
Deshidratació (centrífuga)	469.489*	61.117	m^3/any
Assecatge tèrmic	47.776*	12.991	m^3/any

Nota: Els valors amb un asterisc s'han calculat, els altres els ha facilitat l'EDAR del Baix Llobregat.

Càlcul dels cabals de recirculació d'aigua que s'envia a la capçalera de l'EDAR del Baix Llobregat

Per calcular els cabals d'aigua en volum que es rebutgen dels processos d'espessiment del fang primari, espessiment del fang secundari i deshidratació, s'han restat els cabals de fang d'entrada i sortida. En el cas de la deshidratació no s'ha tingut en compte el cabal anual de polielectrolit a l'hora de fer el balanç.

Per tant, segons les expressions 3.10 a 3.12, els volums anuals de recirculació d'aigua seran:

Espessiment primari:

$$494408m^3 FANG_{primari} - 204267m^3 FANG_{primari-espessit} = 290141m^3 AIGUA_{reciruclada} \quad (3.10)$$

Espessiment secundari:

$$959708m^3 FANG_{secundari} - 265222m^3 FANG_{secundari-espessit} = 694486m^3 AIGUA_{reciruclada} \quad (3.11)$$

Deshidratació:

$$469489m^3 FANG_{digerit} - 61117m^3 FANG_{deshidratat} = 408372m^3 AIGUA_{reciruclada} \quad (3.12)$$

Per calcular el cabal d'aigua en volum que s'extreu a l'assecatge tèrmic es considerarà la densitat del fang assecat definida anteriorment, 1010 kg/m^3.

Per tant, segons l'expressió 3.13, el volum anual d'aigua que es recircula des de l'assecatge tèrmic és de:

$$47776m^3 FANG_{deshidratat-perAssecatge} - 13121tFANG_{assecat} \cdot \frac{1m^3 FANG_{assecat}}{1{,}010tFANG_{assecat}} = 34785m^3 AIGUA_{recirculada} \quad (3.13)$$

Càlcul dels consums elèctrics dels quals manquen dades de camp i resultats finals de consum elèctric

Consums de l'espessidor primari, de l'espessidor secundari i de la deshidratació

L'EDAR del Baix Llobregat ha facilitat un únic valor conjunt pels consums de l'espessidor del fang primari (per gravetat), l'espessidor de fang secundari (per centrífuga) i la deshidratació (per centrífuga), ja que no hi ha comptadors separats. Aquest valor és de 5.279.892 kWh/any.

Considerant que es vol fer un estudi per separat d'aquests tres processos, i per indicació dels tècnics de l'EDAR, es reparteix el total entre la centrífuga (90%) i l'espessiment per gravetat (10%).

Per tant, es considerarà un 45% del consum conjunt per cadascuna de les dues centrífugues i un 10% per l'espessidor primari per gravetat.

El resultat serà:

Espessidor primari per gravetat: 527.989 kWh/any

Espessidor secundari per centrífuga: 2.375.951 kWh/any

Deshidratació per centrífuga: 2.375.951 kWh/any

Consum de la caldera de la línia de fangs

Segons Metcalf & Eddy (2003) un 7,1% del consum energètic total d'una EDAR correspon a l'escalfament (veure Figura 2.4 en la Revisió bibliogràfica de la memòria de la tesina). Aquesta dada és una dada mitjana teòrica i té una antiguitat de 6 anys, per tant, es considera acceptable pel que fa al requeriment de qualitat de les dades.

Per tant, es considerarà que les calderes consumeixen un 7% del consum elèctric global de la planta, 54.520.453 kWh/any. El resultat és un consum elèctric de les calderes de la línia de fangs de 3.816.432 kWh/any.

Consum de les bombes de la línia de fangs

El consum elèctric de les bombes de la línia de fangs es calcula com la diferència entre el consum global de la línia de fangs i la resta de processos considerats en la línia de fangs, ja que el consum en el bombament és l'únic que quedaria per determinar. El resultat és que el consum elèctric de les bombes de la línia de fangs és de 4.698.714 kWh/any.

Resultats finals de consums elèctrics

Amb les dades facilitades per l'EDAR del Baix Llobregat i els càlculs especificats anteriorment, s'obté la Taula 3.9 i la Figura 3.6 de consums elèctircs.

Aquests resultats van ser comunicats a l'EDAR del Baix Llobregat i van confirmar que les estimacions semblaven coherents. Van afegir que el percentatge principal de consum de la maquinària són precisament les bombes, que totes plegades representen un gran consum energètic.

Taula 3.9 Consums elèctrics anuals de l'EDAR del Baix Llobregat.

CONSUM ENERGIA ELÈCTRICA	Valor	Unitats	% sobre el global
Global de l'EDAR (l. aigua amb terciari i l. fang)	**54.520.453**	**kWh/any**	**100**
Global de l'EDAR (l. aigua amb terciari i l. fang) que prové de la cogeneració	26.002.942	kWh/any	48
Global de l'EDAR (l. aigua amb terciari i l. fang) de compra	28.517.511	kWh/any	52
Global de tota la línia de l'aigua (inclou aireig del reactor biològic)	**29.497.577**	**kWh/any**	**54**
Per l'aireig del reactor biològic	14.011.331	kWh/any	26
Global de tota la línia de fangs	**25.022.876**	**kWh/any**	**46**
Espessiment + deshidratació	5.279.892	kWh/any	10
Espessiment primari per gravetat	527.989*	kWh/any	1
Espessiment secundari per centrífuga	2.375.951*	kWh/any	4
Deshidratació per centrífuga	2.375.951*	kWh/any	4
Digestor (inclou agitació)	2.968.311	kWh/any	5
Assecatge tèrmic	3.709.759	kWh/any	7
Bombes (per separat si n'hi ha més d'una)	4.698.714*	kWh/any	9
Calderes	3.816.432*	kWh/any	7
Compressors del biogàs	3.769.768	kWh/any	7
Motors de cogeneració	780.000	kWh/any	1

Nota: Els valors amb un asterisc s'han calculat, els altres els ha facilitat l'EDAR del Baix Llobregat.

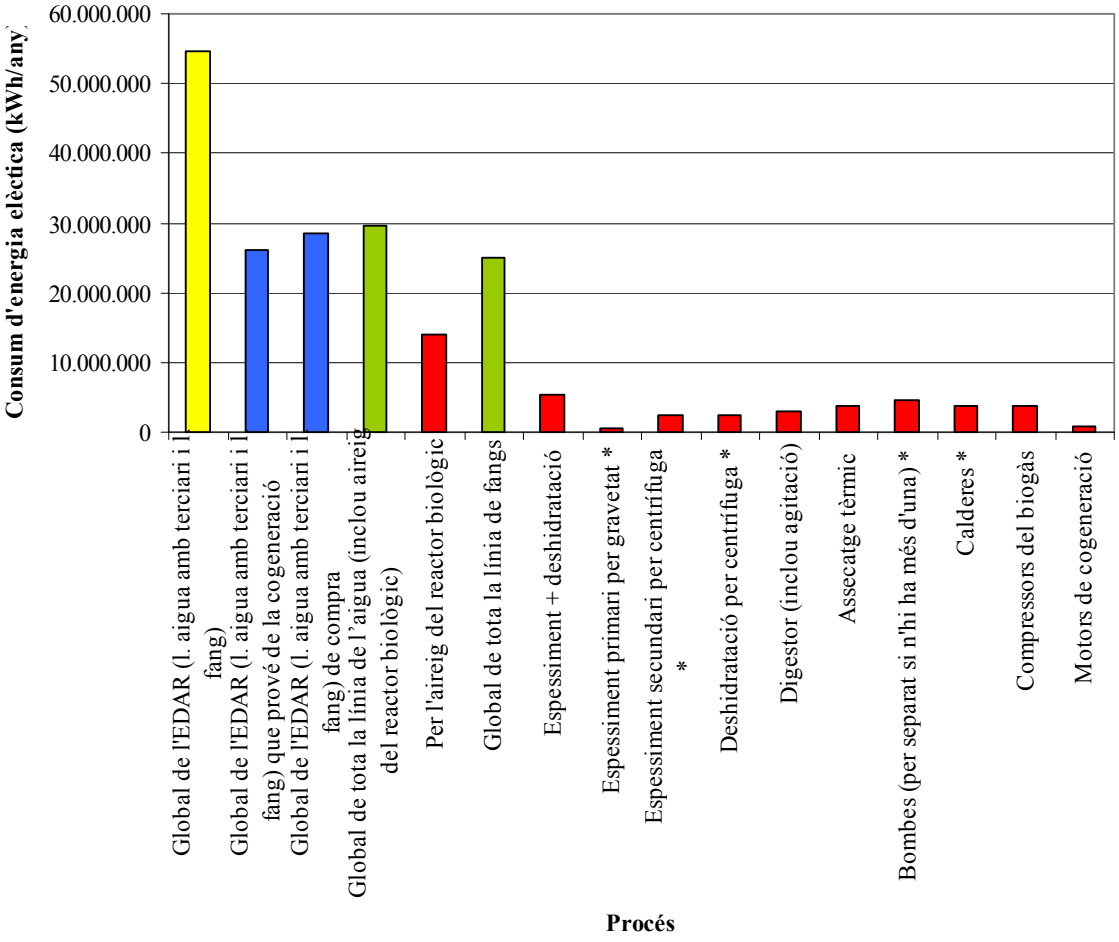

Figura 3.6 Consums elèctrics anuals de l'EDAR del Baix Llobregat. (Nota: Els valors amb un asterisc s'han calculat, els altres els ha facilitat l'EDAR del Baix Llobregat).

Emissions de CO_2 degudes al consum d'energia elèctrica

La quantitat de CO_2 emès a l'atmosfera com a conseqüència del consum d'energia elèctrica és la més important. L'emissió es produeix en la generació de l'energia elèctrica fora de la planta. A Espanya (any 2000), el factor d'emissió mitjà és de 131 g CO_2/MJ (Xarxa Temàtica Catalana d'ACV, 2002). Aquesta dada és una dada mitjana teòrica i té una antiguitat de 7 anys, per tant, es considera acceptable pel que fa al requeriment de qualitat de les dades.

Tenint en compte que 1 Wh equival a 3600 J, es fa el canvi d'unitats que s'indica a l'expressió 3.14:

$$\frac{131 gCO_2}{1MJ} \cdot \frac{1MJ}{10^6 J} \cdot \frac{3600J}{1Wh} \cdot \frac{10^3 Wh}{1kWh} = 471{,}6\ gCO_2/kWh \qquad (3.14)$$

Els resultats obtinguts es troben a la Taula 3.10 i encara no estan relacionats amb la unitat funcional.

Taula 3.10 Emissions de CO_2 degudes al consum d'energia elèctrica de l'EDAR del Baix Llobregat (2008).

PROCÉS	Energia elèctrica comprada (kWh/any)	Emissió de CO_2 (gCO_2/any)
Global de tota la línia de l'aigua	**15.429.026**	**7.276.328.549**
Global de tota la línia de fangs	**13.088.485**	**6.172.529.639**
Espessiment primari per gravetat	276.170*	130.241.982
Espessiment secundari per centrífuga	1.242.767*	586.088.920
Digestor (inclou agitació)	1.552.607	732.209.501
Deshidratació per centrífuga	1.242.767*	586.088.920
Assecatge tèrmic	1.940.429	915.106.533
Bombes (per separat si n'hi ha més d'una)	2.457.713*	1.159.057.564
Calderes	1.996.226*	941.420.073
Compressors del biogàs	1.971.818	929.909.281
Motors de cogeneració	407.987	192.406.864

Nota: Els valors d'energia elèctrica comprada amb un asterisc s'han calculat, els altres els ha facilitat l'EDAR del Baix Llobregat.

Altres

Residu: Sorra del tractament físico-químic del tractament terciari de la línia de l'aigua de l'EDAR del Baix Llobregat

Se suposa que el residu anual de sorra usada en el tractament físico-químic del tractament terciari a la línia de l'aigua és igual a la quantitat de sorra que s'empra anualment. Aquest valor és facilitat per l'EDAR del Baix Llobregat i és de 285 t/any. També se suposa que la destinació d'aquest residu és l'abocador, ja que els altres residus del tractament primari (gruixuts, fins i sorres) van a l'abocador.

Residu: Oli de les calderes per l'assecatge tèrmic de la línia de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat

Es considera que no hi ha residu d'oli per indicació de la pròpia l'EDAR del Baix Llobregat (resposta a la pregunta número 6 de la Taula 2.4 de l'Annex 2). Si es considera que la sortida d'oli com a residu és zero, es considerarà també que l'entrada d'oli net a la caldera és zero i que no hi ha pèrdues d'oli al sistema.

Biogàs per l'agitació interna del digestor de fangs

La diferència entre el biogàs produït (6.274.321 Nm^3/any) i el que es consumeix a les calderes (4.646.000 Nm^3/any) i al motor de cogeneració (1.628.000 Nm^3/any), podria ser una aproximació del biogàs que es consumeix per a l'agitació interna del digestor. Per tant, es considerarà que el biogàs consumit per a l'agitació interna del digestor és de 320,95 Nm^3/any.

Superfície ocupada per l'EDAR del Baix Llobregat

Es prendrà com a superfície ocupada per l'EDAR del Baix Llobregat, la dada que facilita l'Entitat del Medi Ambient (EMA)-EMSHTR (2008): 36 ha. Aquesta dada és una dada proporcionada per l'empresa que gestiona la planta a través de la seva web i té una

antiguitat d'1 any, per tant, es considera acceptable pel que fa al requeriment de qualitat de les dades.

3.2.2.3 Conjunt de dades final

Les dades recollides i validades i les calculades pels diferents processos es recullen a les Taules 3.11 a la 3.14.

3.2.2.4 Relació de les dades amb els processos unitaris i la unitat funcional

La unitat funcional del sistema és 100 m^3/dia.

L'EDAR del Baix Llobregat tracta 469.489 m^3/any de fang mixt espessit. Dividint aquest valor per 365 dies i multiplicant-lo per un factor X, obtindrem el valor desitjat de 100 m^3/dia de fang espessit. La resta de fluxes d'entrada i sortida dels processos unitaris de l'EDAR són fluxes anuals, per tant, només caldrà multiplicar-los per un factor Y=X/365 per obtenir el seu valor relacionat amb la unitat funcional. L'obtenció del factor Y s'indica a l'expressió 3.15. El resultat final d'aquest apartat es pot trobar a les Taules 3.15 a la 3.19, i als diagrames de flux de les Figures 3.7 a la 3.18. (3.15)

$$\frac{469489m^3\,fang_{espessit}}{1any}\cdot\frac{1any}{365dies}\cdot X=\frac{469489m^3\,fang_{espessit}}{1any}\cdot Y=\frac{100m^3\,fang_{espessit}}{1dia}\Rightarrow Y=\frac{100}{469489}$$

A l'hora de relacionar la superfície ocupada per l'EDAR amb la unitat funcional, només multiplicarem la superfície real (36 ha) pel factor X. Això és degut a que l'EDAR ocupa la mateixa superfície si tracta 469.489 m^3/any de fang mixt espessit que si tracta l'equivalent diari (1.286 m^3/dia de fang mixt espessit), per tant, només s'haurà de considerar que el sistema a estudiar tracta 100 m^3/dia de fang mixt espessit en lloc de 1.286 m^3/dia de fang mixt espessit.

3.2.2.5 Ajust dels límits del sistema

Els límits del sistema quedaran modificats segons les limitacions que es descriuen a continuació.

Degut a la manca de dades, no es podrà avaluar l'impacte de:

- el consum d'aigua potable,
- les emissions de la línia de l'aigua (COVs, N_2O, N_2),
- el soroll i les olors,
- l'ocupació del terreny de cada procés unitari.

Degut a que les dades de què es disposa no són les adequades per avaluar l'impacte mitjançat les categories d'impacte, no es podrà avaluar l'impacte de:

- la reducció de recursos deguda a l'ús de reactius i productes addicionals (sorra pels filtres del terciari), ja que se'n desconeix la seva composició química,
- les recirculacions d'aigua que van a parar a la capçalera de la planta, ja que se'n desconeix la composició.

Taula 3.11 Dades per la línia de l'aigua, dins dels límits del sistema.

Dades per la línia de l'aigua			Valor	Unitat
Entrades de matèria	Aigua residual		97.541.429	m^3/any
	Reactius i productes addicionals	Coagulant PAX pel físico-químic del terciari	2.200.000	kg/any
		Sorra pel físico-químic del terciari (nova)	285.000	kg/any
		Sorra pel físico-químic del terciari (recirculada)	sense dades	
		Floculant aniònic pel físico-químic del terciari	51.000	kg/any
		Hipoclorit sòdic per la desinfecció del terciari	1.350.000	kg/any
Entrades d'energia	Elèctrica comprada		15.429.026	kWh/any
	Elèctrica cogenerada		14.068.551	kWh/any
Productes	Aigua depurada		68.906.223	m^3/any
	Aigua del tractament terciari		28.161.408	m^3/any
	Aigua de l'osmosi		473.798	m^3/any
Residus	Fang primari		494.408	m^3/any
	Fang secundari		959.708	m^3/any
	Sorres		895.000	kg/any
	Greixos		0	kg/any
	Gruixuts + fins		2.204.000	kg/any
	Sorra bruta del físico químic		285.000	kg/any
Emissions a l'aire	CO_2		7.276.329	kg CO_2/any
	COV, N_2O, N_2		sense dades	
Soroll i olors			sense dades	
Superfície ocupada per l'EDAR			360.000	m^2

Taula 3.12 Dades per la línia de fangs, dins dels límits del sistema.

Dades per la línia de fangs			Valor	Unitat
Entrades de matèria	Fang		1.454.116	m^3/any
	Aigua potable pel circuit per escalfar el fang		sense dades	
	Oli net per la caldera		0	m^3/any
	Reactius	Polielectrolit	115.000	kg/any
Entrades d'energia	Elèctrica comprada		13.088.485	kWh/any
	Elèctrica cogenerada		11.934.391	kWh/any
Altres entrades	Gas Natural		5.264.345	Nm^3/any
Productes	Fang	Deshidratat	13.341	m^3/any
		Assecat	12.991	m^3/any
Energia elèctrica produida			26.002.942	kWh/any
Altres sortides	Aigua del circuit d'escalfar fang		sense dades	
Residus	Aigua residual		sense dades	
	Oli residual de la caldera		0	m^3/any
Emissions a l'aire	CO_2		6.172.530	kg CO_2/any
Soroll i olors			sense dades	
Superfície			sense dades	

Taula 3.13 Dades pels processos unitaris de la línia de fangs, dins dels límits del sistema

Dades pels processos unitaris de la línia de fangs			Valor per processos unitaris de la línia de fang									Unitat
			Esp. 1ari	Esp. 2ari	Bombes	Digestió	Gasòmetre	M. cogen.	Caldera oli	Deshidrat.	Ass. Tèrmic	
Entrades de matèria	Fang		494.408	959.708	Depèn [1]	469.489	-	-	-	469.489	47.776	m^3/any
	Aigua del circuit per escalfar el fang		-	-	-	sense dades	-	sense dades	-	-	-	
	Aigua potable pel circuit per escalfar el fang		-	-	-	-	-	sense dades	-	-	-	
	Oli net per la caldera		-	-	-	-	-	-	0	-	-	m^3/any
	Oli per la caldera		-	-	-	-	-	-	80	-	80	m^3/any
	Reactius	Polielectrolit	-	-	-	-	-	-	-	115.000	-	kg/any
Entrades d'energia	Elèctrica comprada		276.170	1.242.767	2.457.713	1.552.607	1.971.818	407.987	1.996.226	1.242.767	1.940.429	kWh/any
	Elèctrica cogenerada		251.819	1.133.184	2.241.001	1.415.704	1.797.950	372.013	1.820.206	1.133.184	1.769.330	kWh/any
Altres entrades	Biogàs		-	-	-	321	6.274.321	1.628.000	4.646.000	-	-	Nm^3/any
	Gas Natural		-	-	-	-	-	5.264.345	0	-	-	Nm^3/any
Productes	Fang		204.267	265.222	Depèn [1]	469489	-	-	-	61.117	12.991	m^3/any
	Biogàs		-	-	-	6.274.321	-	-	-	-	-	Nm^3/any
Energia elèctrica produida			-	-	-	-	-	26.002.942	-	-	-	kWh/any
Altres sortides	Aigua del circuit d'escalfar fang		-	-	-	sense dades	-	sense dades	-	-	-	
	Oli per la caldera		-	-	-	-	-	-	80	-	80	m^3/any
	Biogàs		-	-	-	-	6.274.321	-	-	-	-	Nm^3/any
Residus	Aigua recirculada cap a la capçalera de l'EDAR		290.141	694.486	-	-	-	-	-	408.372	34.785	m^3/any
	Aigua residual		-	-	-	-	-	sense dades	-	-	-	
	Oli residual de la caldera		-	-	-	-	-	-	0	-	-	m^3/any
Emissions a l'aire	CO_2		130.242	586.089	1.159.058	732.210	929.909	192.407	941.420	586.089	915.107	kg CO_2/any
Soroll i olors			sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	
Superfície			sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	

[1] Depèn d'on estigui situada la bomba

Taula 3.14 Dades pels edificis de control, dins dels límits del sistema.

Dades pels edificis de control		Valor	Unitat
Entrades de matèria	Aigua potable	sense dades	
Entrades d'energia	Elèctrica	sense dades	
Residus	Aigua residual	sense dades	
	Residus	sense dades	
Emissions a l'aire	CO_2	sense dades	
Soroll i olors		sense dades	
Superfície ocupada		sense dades	

3.2.3 Assignació de fluxos i d'emissions i abocaments

No hi ha la necessitat d'aplicar procediments d'assignació perquè el sistema no inclou productes múltiples per cap procés unitari.

3.2.4 Resultats de l'ICV

Els resultats de l'Anàlisi de l'inventari del cicle de vida es recullen a les Taules 3.15 a la 3.19 i als diagrames de flux dels processos unitaris de les Figures 3.7 a la 3.18.

Les entrades i sortides representades als diagrames tenen diferents colors en funció del tipus que siguin (energia, residus, fang, etc.). Els processos que estan dins els límits del sistema són negres i els que queden fora dels límits del sistema són blancs (excepte els processos centrals del diagrama, que aquests seran sempre blancs tot i estar dins dels límits del sistema).

Taula 3.15 Resultats de l'ICV per la línea de fangs, dins dels límits del sistema. Unitat funcional: 100 m^3 fang espessit/dia.

ICV de la línea de fangs			Valor	Unitat
Entrades de matèria	Fang		310	$m^{3/}$dia
	Aigua potable pel circuit per escalfar el fang		sense dades	
	Oli net per la caldera		0	l/dia
	Reactius	Polielectrolit	24	kg/dia
Entrades d'energia	Elèctrica comprada		2.788	kWh/dia
	Elèctrica cogenerada		2.542	kWh/dia
Altres entrades	Gas Natural		1.121	Nm^3/dia
Productes	Fang	Deshidratat	3	m^3/dia
		Assecat	3	m^3/dia
Energia elèctrica produida			5.539	kWh/dia
Altres sortides	Aigua del circuit d'escalfar fang		sense dades	
Residus	Aigua residual		sense dades	
	Oli residual de la caldera		0	l/dia
Emissions a l'aire	CO_2		1.315	kg CO_2/dia
Soroll i olors			sense dades	
Superfície			sense dades	

Taula 3.16 Resultats de l'ICV per la línia de l'aigua, dins dels límits del sistema. Unitat funcional: 100 m^3 fang espessit/dia.

ICV per la línia de l'aigua			Valor	Unitat
Entrades de matèria	Aigua residual		20.776	m^3/dia
	Reactius i productes addicionals	Coagulant PAX pel físico-químic del terciari	469	kg/dia
		Sorra pel físico-químic del terciari (nova)	61	kg/dia
		Sorra pel físico-químic del terciari (recirculada)	sense dades	
		Floculant aniònic pel físico-químic del terciari	11	kg/dia
		Hipoclorit sòdic per la desinfecció del terciari	288	kg/dia
Entrades d'energia	Elèctrica comprada		3.286	kWh/dia
	Elèctrica cogenerada		2.997	kWh/dia
Productes	Aigua depurada		14.677	m^3/dia
	Aigua del tractament terciari		5.998	m^3/dia
	Aigua de l'osmosi		101	m^3/dia
Residus	Fang primari		105	m^3/dia
	Fang secundari		204	m^3/dia
	Sorres		191	kg/dia
	Greixos		0	kg/dia
	Gruixuts + fins		469	kg/dia
	Sorra bruta del físico químic		61	kg/dia
Emissions a l'aire	CO_2		1.550	kg CO_2/dia
	COV, N_2O, N_2		sense dades	
Soroll i olors			sense dades	
Superfície ocupada per l'EDAR			27.988	m^2

Taula 3.17 Resultats de l'ICV pels edificis de control, dins dels límits del sistema. Unitat funcional: 100 m^3 fang espessit/dia.

Dades pels edificis de control		Valor	Unitat
Entrades de matèria	Aigua potable	sense dades	
Entrades d'energia	Elèctrica	sense dades	
Residus	Aigua residual	sense dades	
	Residus	sense dades	
Emissions a l'aire	CO_2	sense dades	
Soroll i olors		sense dades	
Superfície ocupada		sense dades	

Taula 3.18 Resultats de l'ICV pels processos unitaris de la línia de fangs, dins dels límits del sistema. Unitat funcional: 100 m^3 fang espessit/dia.

ICV dels processos unitaris de la línia de fangs			Valor per processos unitaris de la línia de fang									Unitat
			Esp. 1ari	Esp. 2ari	Bombes	Digestió	Gasòmetre	M. cogen.	Caldera oli	Deshidrat.	Ass. Tèrmic	
Entrades de matèria	Fang		105	204	Depèn [1]	100	-	-	-	100	10	m^3/dia
	Aigua del circuit per escalfar el fang		-	-	-	sense dades	-	sense dades	-	-	-	
	Aigua potable pel circuit per escalfar el fang		-	-	-	-	-	sense dades	-	-	-	
	Oli net per la caldera		-	-	-	-	-	-	0	-	-	l/dia
	Oli per la caldera		-	-	-	-	-	-	17	-	17	l/dia
	Reactius	Polielectrolit	-	-	-	-	-	-	-	24	-	kg/dia
Entrades d'energia	Elèctrica comprada		59	265	523	331	420	87	425	265	413	kWh/dia
	Elèctrica cogenerada		54	241	477	302	383	79	388	241	377	kWh/dia
Altres entrades	Biogàs		-	-	-	0,068	1.336	347	990	-	-	Nm^3/dia
	Gas Natural		-	-	-	-	-	1.121	0	-	-	Nm^3/dia
Productes	Fang		44	56	Depèn [1]	100	-	-	-	13	3	m^3/dia
	Biogàs		-	-	-	1.336	-	-	-	-	-	Nm^3/dia
Energia elèctrica produida			-	-	-	-	-	5.539	-	-	-	kWh/dia
Altres sortides	Aigua del circuit per escalfar el fang		-	-	-	sense dades	-	sense dades	-	-	-	
	Oli per la caldera		-	-	-	-	-	-	17	-	17	l/dia
	Biogàs		-	-	-	-	1.336	-	-	-	-	Nm^3/dia
Residus	Aigua recirculada cap a la capçalera de l'EDAR		62	148	-	-	-	-	-	87	7	m^3/dia
	Aigua residual		-	-	-	-	-	sense dades	-	-	-	
	Oli residual de la caldera		-	-	-	-	-	-	0	-	-	l/dia
Emissions a l'aire	CO_2		28	125	247	156	198	41	201	125	195	kg CO_2/dia
Soroll i olors			sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	
Superfície			sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	sense dades	

[1] Depèn d'on estigui situada la bomba

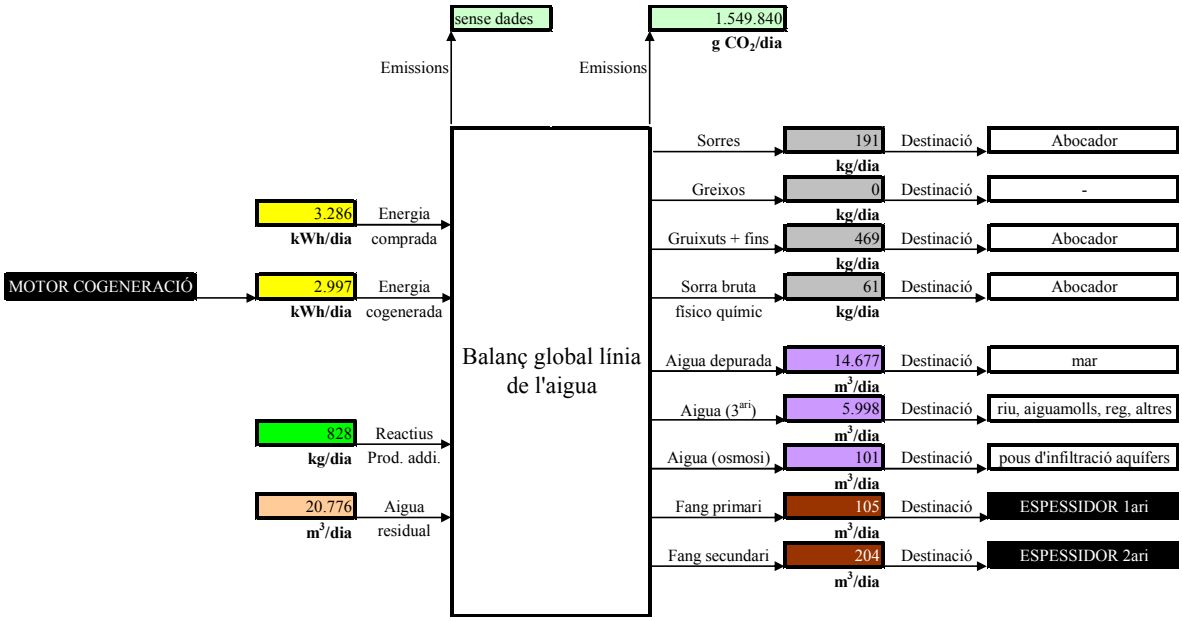

Figura 3.7 Diagrama de flux global per la línia de l'aigua de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia).

Taula 3.19 Quantitat de reactius usats a la línia de l'aigua i superfície ocupada per tota l'EDAR del Baix Llobregat.

Reactius i productes addicionals:		
Coagulant PAX pel físico-químic del terciari	469	kg/dia
Sorra pel físico-químic del terciari (nova)	61	kg/dia
Sorra pel físico-químic del terciari (recirculada)	sense dades	
Floculant aniònic pel físico-químic del terciari	11	kg/dia
Hipoclorit sòdic per la desinfecció del terciari	288	kg/dia
Superfície ocupada per l'EDAR:	27.988	m2

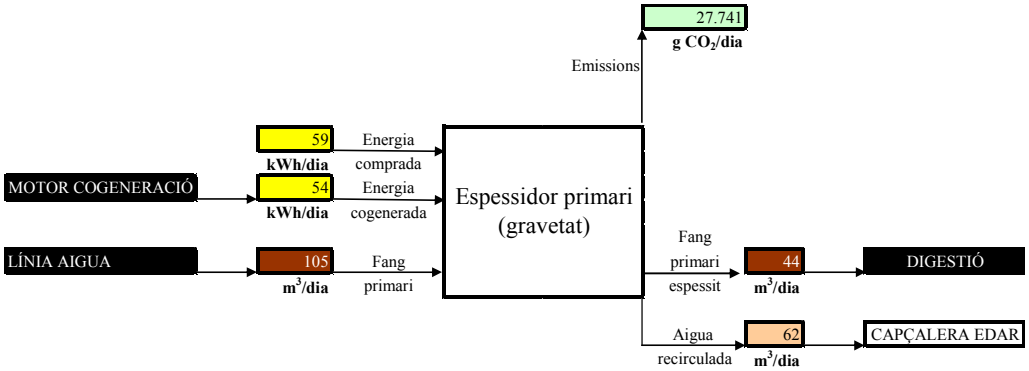

Figura 3.8 Diagrama de flux per l'espessidor de fang primari (per gravetat) de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia).

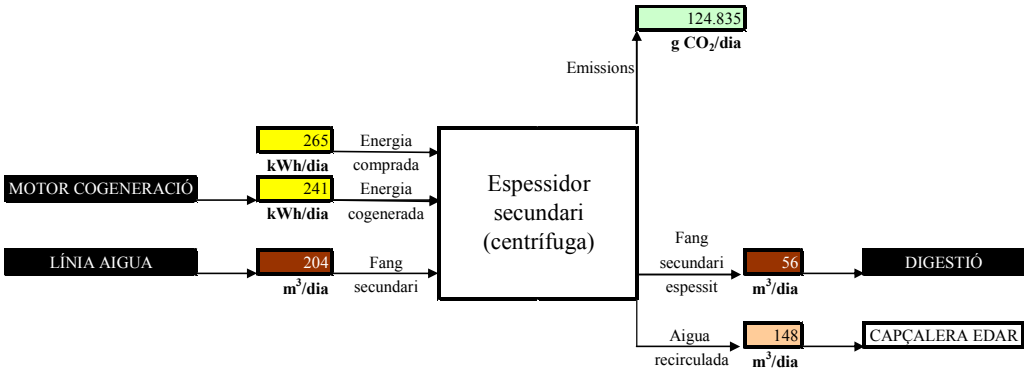

Figura 3.9 Diagrama de flux per l'espessidor de fang secundari (per centrífugues) de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia).

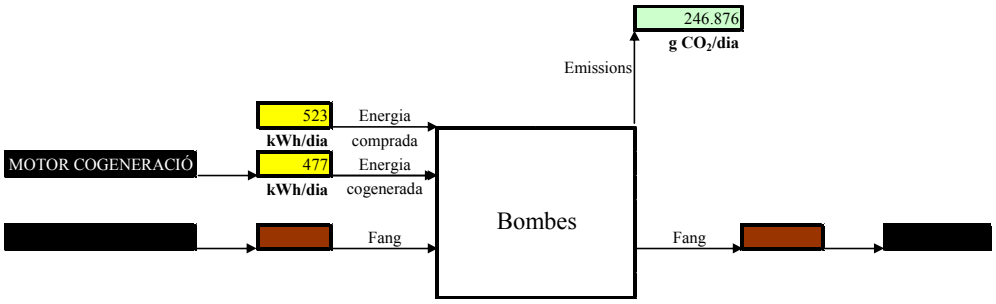

Figura 3.10 Diagrama de flux de les bombes de la línia de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia). Nota: l'entrada i sortida de fang dependrà del punt on estigui situada la bomba.

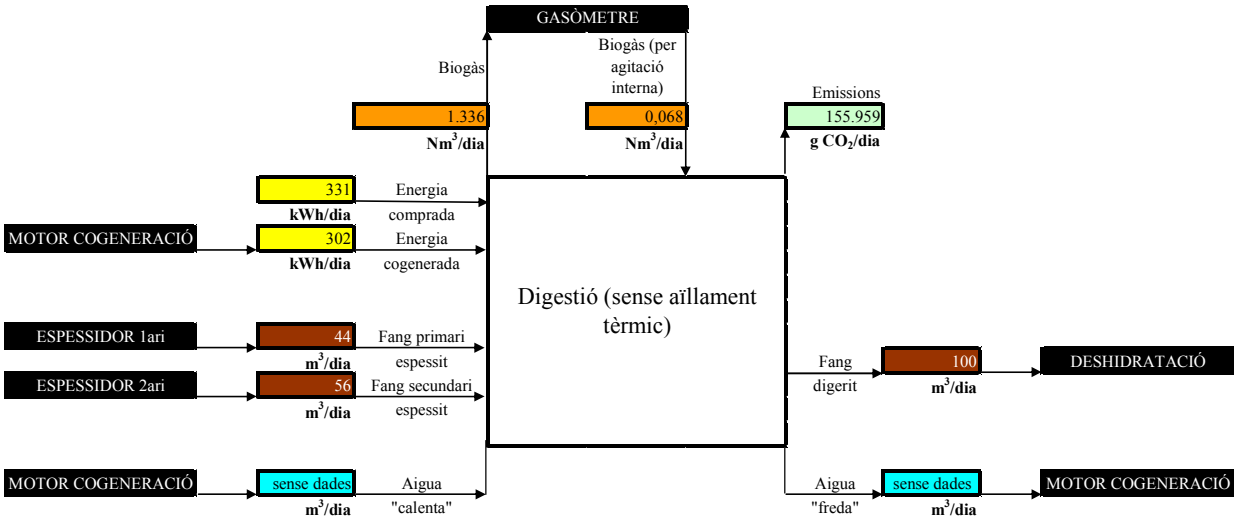

Figura 3.11 Diagrama de flux pel digestor dels fangs (anaerobi) de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia).

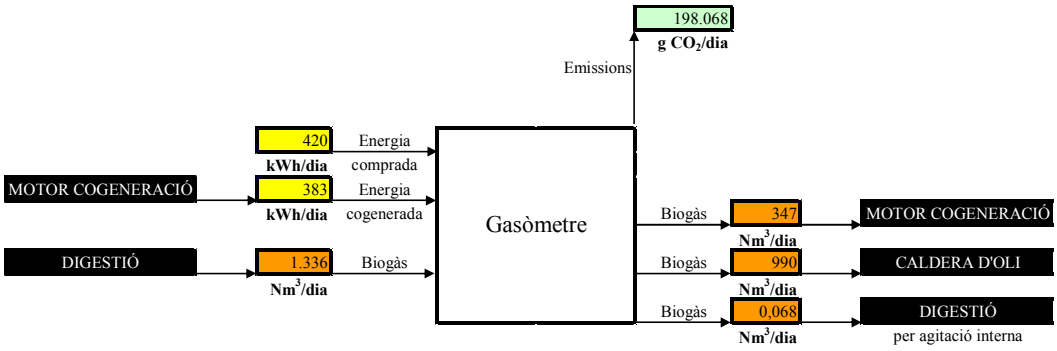

Figura 3.12 Diagrama de flux pel gasòmetre que recull el biogàs de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia).

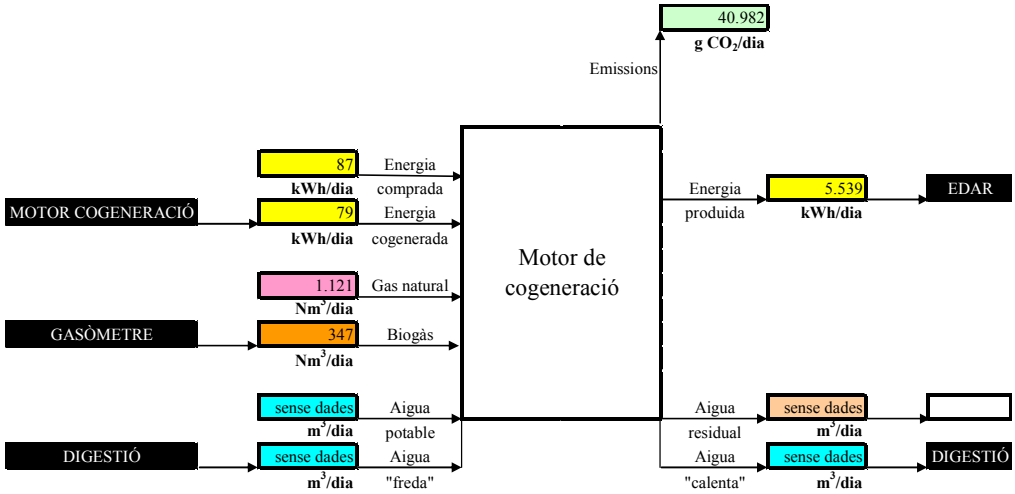

Figura 3.13 Diagrama de flux pel motor de cogeneració de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia).

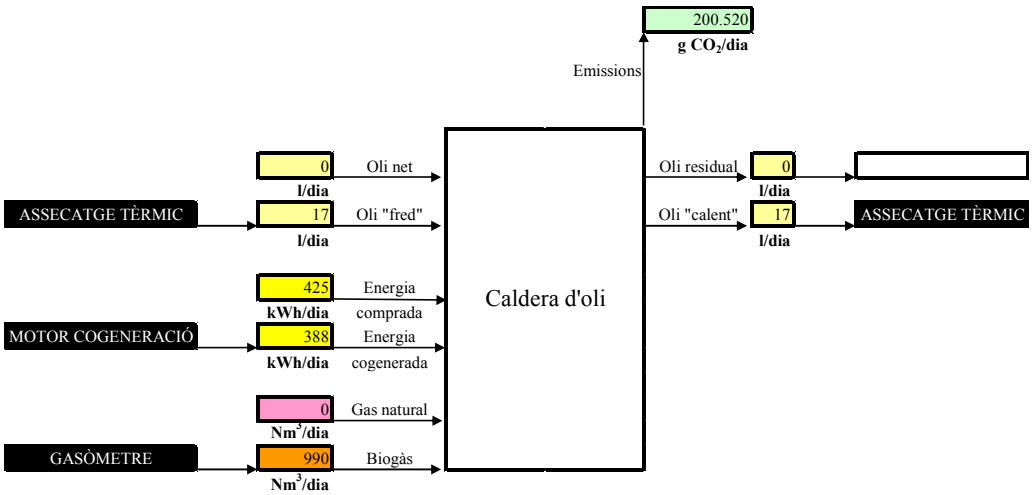

Figura 3.14 Diagrama de flux per la caldera d'oli de la línia de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia).

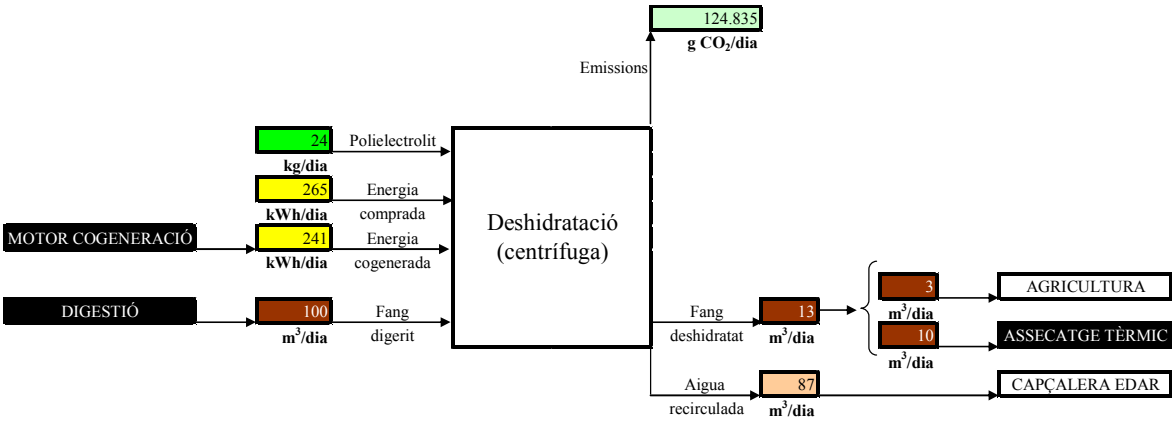

Figura 3.15 Diagrama de flux per la deshidratació dels fangs de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia).

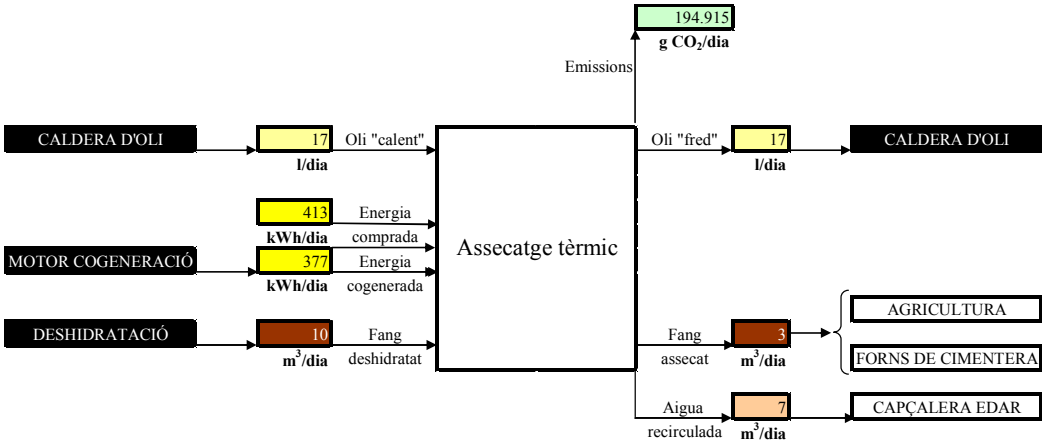

Figura 3.16 Diagrama de flux per l'assecatge tèrmic dels fangs de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia).

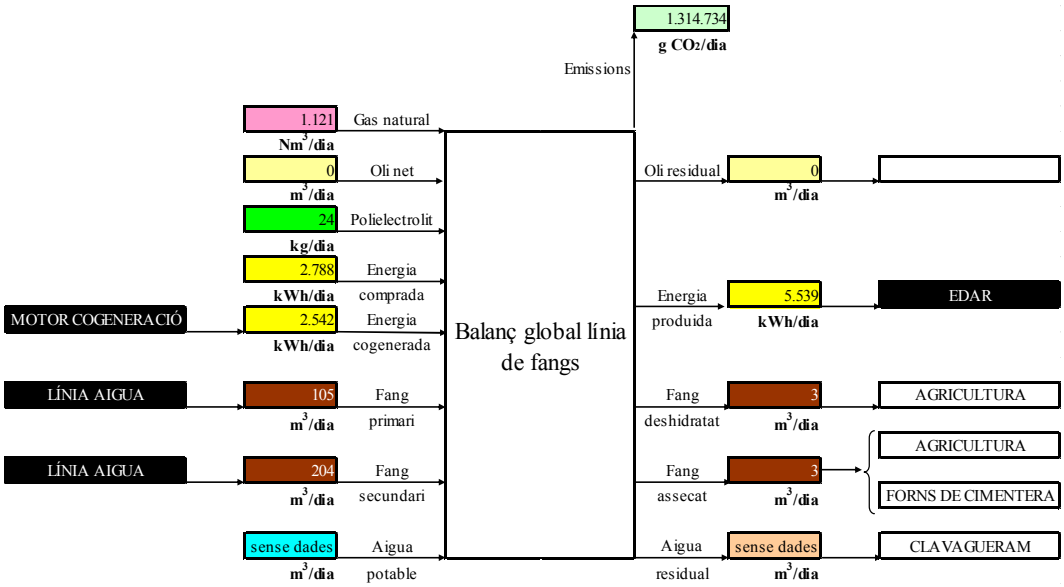

Figura 3.17 Diagrama de flux global per la línia de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia).

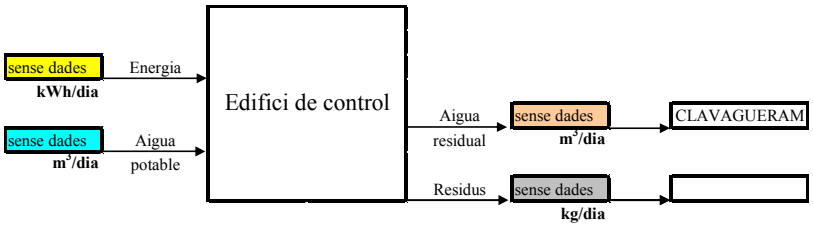

Figura 3.18 Diagrama de flux pels edificis de control de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitats relacionades amb la unitat funcional (100 m^3 fang espessit/dia)

3.3 AVALUACIÓ DE L'IMPACTE AMBIENTAL DEL CICLE DE VIDA (AICV)

3.3.1 Selecció de categories, indicadors i models

A continuació s'expliquen les categories d'impacte triades i els corresponents indicadors de categoria. També s'explicarà el model de caracterització que vincula els resultats de l'ICV amb l'indicador de categoria i proporciona la base pels factors de caracterització.

En aquest ACV s'han fet servir els mètodes de caracterització indicats com a "baseline", desenvolupats per Guinée *et al.* (2001), per a totes les categories d'impacte seleccionades.

Els indicadors de categoria són triats en un punt intermedi de categoria, ja que els punts finals de categoria no són fàcils de comprendre i estan encara en desenvolupament (Guinée *et al.*, 2001).

Guinée *et al.* (2001) conté els factors de caracterització per cadascuna de les categories d'impacte i a l'Annex 3 es recullen les taules de factors de caracterització per les categories que, finalment, s'analitzaran en aquesta tesina seguint la guia CML 2 baseline.

3.3.1.1 Esgotament de recursos abiòtics, ERA

L'Esgotament de recursos abiòtics es pot definir com la disminució de la disponibilitat de recursos naturals. S'inclouen en aquesta categoria els recursos abiòtics (aigua , minerals, petroli) i l'energia.

L'origen bàsic de tots els béns materials són els recursos naturals (materials i energia obtinguts o precedents del medi ambient). Els recursos no renovables són els que es renoven mitjançant cicles naturals extremament lents (combustibles fòssils) o aquells que a efectes d'utilització per part de les persones, no es renoven en cicles naturals (dipòsits minerals). El consum per càpita global de recursos augmenta contínuament. S'ha calculat que el planeta Terra és capaç de sostenir com a màxim mil milions d'habitants (davant dels prop de sis mil milions actuals) si tothom visqués en els estàndards de què gaudeix la major part dels països rics. Aquests països, amb el 20% de la població mundial, consumeixen el 80% dels recursos de la Terra. El creixement de la població, l'augment del consum individual i la mala gestió porten a l'esgotament dels recursos naturals.

Aquesta categoria d'impacte és una de les més discutides i, per tant, hi ha una gran varietat de medologies disponibles per avaluar-la (Guinée *et al.,* 2001).

El mètode recomanat per la guia CML 2 baseline està basat en el volum de reserva del recurs i la ràtio de disminució o reducció del recurs. Aquests dos paràmetres es veuen

representats al factor de caracterització per l'Esgotament abiòtic (ADP), que prové de Guinée (1995). El recurs de referència és l'antimoni (Sb).

L'indicador de l'esgotament de recursos abiòtics bé representat per l'equació 3.16.

$$ERA(kgSb-eq)=\sum_i ADP_i \cdot m_i \qquad (3.16)$$

On:
m_i (kg, exepte pel gas natural (m^3) i l'energia fòssil (MJ)) = quantitat del recurs "i" utilitzat,
ADP_i (kg Sb-eq · kg^{-1}) = factor de caracterització del recurs "i", éssent ADP_i l'indicat a l'equació 3.17 (Antón, 2004).

$$ADP_i\left(kgSb-eq\cdot kg^{-1}\right)=\frac{DR_i}{R_i^{\,2}}\frac{\left(R_{ref}\right)^2}{DR_{ref}} \qquad (3.17)$$

On:
R_i (kg) = reserva del recurs "i" ,
DR_i (kg · $anys^{-1}$) = disminució d'R_i ,
R_{ref} (kg) = reserva d'antimoni com a recurs de referència,
DR_{ref} (kg · $anys^{-1}$) = disminució de R_{ref}.

A la Taula 3.20 es resumeixen les característiques d'aquesta categoria d'impacte, així com els resultats de l'ICV que se li assignen.

Taula 3.20 Resum de les característiques de la categoria d'Esgotament de recursos abiòtics, ERA (Font: Guinée *et al.*, 2001).

Categoria d'impacte	Esgotament de recursos abiòtics, ERA
Resultats de l'ICV	Extracció de minerals i combustibles fòssils (kg, m^3, MJ)
Model de caracterització	Basat en el volum de reserva última i la ràtio d'extracció
Indicador de categoria	Reducció de la reserva última en relació a l'ús anual
Factor de caracterització	Potencial d'esgotament abiòtc, ADP (kg antimoni-eq/kg)
Unitats de l'indicador	kg antimoni-eq

3.3.1.2 Impactes de l'ús del sòl, US

Tot i que aquesta és una de les categories que més importància pot tenir per a establir la sostenibilitat d'una activitat, no existeix encara un consens sobre quins indicadors utilitzar. Potser, precisament, degut a la seva pròpia complexitat. Hi ha molts estudis en què es mostra que l'extinció de les espècies és precisament deguda a la pèrdua de l'hàbitat. La conversió d'hàbitats naturals per a la pràctica agrícola i forestal i l'expansió de les àrees urbanes i industrials han desplaçat els ecosistemes naturals (UNEP, 2003).

Per aquesta raó, els indicadors més desenvolupats fins el moment guarden relació amb la biodiversitat. De totes formes, s'ha vist la necessitat d'establir indicadors que avaluïn els

canvis en la qualitat del sòl, que afectaran a aquelles funcions de sosteniment de la vida, fertilitat del sòl, cicles hidrològics, etc. (Weidema i Lindeijer, 2001).

Guinée *et al.* (2001) proposa estudiar l'ús del sòl en tres subcategories, la pèrdua del sòl com a recurs, la pèrdua de biodiversitat i de pèrdua de la funció de sustentació de la vida.

La primera subcategoria fa referència a la pèrdua de sòl com a recurs, ja que mentre estigui ocupat no es podrà disposar d'ell. Pel càlcul de la pèrdua de sòl, Guinée *et al.* (2001) proposa l'equació 3.18 i considera que els factors de caracterització són iguals a 1 per a qualsevol ús de la terra.

$$pèrduadesòl\left(m^2 \cdot any\right) = a \cdot t \cdot 1 \qquad (3.18)$$

On:
a (m^2) = àrea ocupada,
t (anys) = temps d'ocupació.

En la segona i tercera subcategoria, els problemes que es defineixen són els efectes sobre la biodiversitat i sobre la funció de sustentació de la vida resultants de intervencions com la recolecta de recursos biòtics (productes agrícoles, ramaders, pesquers i forestals), o la destrucció o l'alteració del sòl. Per la pèrdua de biodiversitat i de la funció de sustentació de la vida es proposa mirar Lindeijer *et al.* (1998) i Köllner (2000) per trobar exemples dels mètodes alternatius existents per aquesta categoria d'impacte. Aquestes dues subcategories no s'avaluaran perquè la guia no proposa cap mètode com a "baseline". Un dels mètodes alternatius es basa en mesures estadístiques de densitat de flora i fauna i en produccions primàries netes.

A la Taula 3.21 es resumeixen les característiques d'aquesta categoria d'impacte, així com els resultats de l'ICV que se li assignen.

Taula 3.21 Resum de les característiques de la categoria d'Ús del sòl, US (Font: Guinée *et al.*, 2001).

Categoria d'impacte	Ús del sòl, US
Subcategoria d'impacte	Pèrdua del sòl com a recurs
Resultats de l'ICV	Ús del sòl (en $m^2 \cdot$ any)
Model de caracterització	Agregació amb factors de caracterització iguals a 1
Indicador de categoria	Ocupació del sòl
Factor de caracterització	1 per tot tipus d'usos del sòl (adimensional)
Unitats de l'indicador	$m^2 \cdot$ any

3.3.1.3 Canvi climàtic, CC

La terra absorbeix la radiació del Sol. Aquesta energia és redistribuïda per l'atmosfera i els oceans i retornada en forma de radiació d'infraroig tèrmic. Part de la radiació és absorbida pels gasos existents a l'atmosfera provocant l'escalfament del planeta, a aquest fenomen se'l denomina efecte hivernacle. L'acció humana ha provocat un increment de les emissions dels gasos que generen l'efecte hivernacle (vapor d'aigua, CO_2, CH_4, N_2O, CFC, O_3) el que comporta o pot portar a un sobreescalfament del planeta i per tant a una alteració de les

seves condicions. L'ascens de temperatura pot afectar els oceans fins al punt que pugi el nivell del mar, amb greus conseqüències per a la tercera part de la humanitat que viu a les zones litorals. El canvi climàtic també podria afectar dràsticament els esquemes del temps i les estacions arreu del món, i de retruc també l'agricultura.

L'indicador que serveix per avaluar aquest impacte s'expressarà com a CC i la seva mesura es farà relativa respecte a l'efecte produït per un kg de CO_2 (substància de referència), essent la seva unitat el kg de diòxid de carboni-equivalents, i es calcularà mitjançant l'equació 3.19 (Houghton *et al.*, 1994 i 1996).

$$CC(kgCO_2 - eq) = \sum_i GWP_{T,i} \cdot m_i \qquad (3.19)$$

On:
m_i (kg) = massa de la substància "i" emesa,
$GWP_{T,\,i}$ (kg CO_2-eq · kg^{-1} de gas) = potencial d'escalfament global per la substància "i" per un temps d'integració "T".

El GWP és un factor desenvolupat per comparar les emissions de diferents gasos d'efecte hivernacle. Es defineix com la relació entre la contribució a l'absorció de calor resultant de l'emissió d'1 kg d'un gas d'efecte hivernacle i l'emissió equivalent de CO_2 al llarg d'un temps T (20, 100 o 500 anys) (Antón, 2004) (veure expressió 3.20).

$$GWP_{T,i}\left(kgCO_2 - eq \cdot kg^{-1} gas\right) = \frac{\int_0^T a_i \cdot c_i(t) \cdot dt}{\int_0^T a_{CO_2} \cdot c_{CO_2}(t) \cdot dt} \qquad (3.20)$$

On:
a_i (W · m^{-2} · kg^{-1}) = escalfament produit per l'augment de la concentració d'un gas "i",
$c_i(t)$ (kg · m^{-3}) = concentració del gas "i" en el temps "t".

Els valors corresponents al CO_2 es posen al denominador.

Els valors de GWP són publicats periòdicament per Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC).

GWP dependrà del temps d'integració T. Un gas que s'elimina ràpidament de l'atmosfera i que té al començament un efecte gran, en períodes llargs es converteix en menys important, per contra un gas de vida llarga augmenta el seu GWP en un termini de temps més llarg. El valor de GWP depèn de com decau la concentració de gas gradualment en l'atmosfera. Això sovint no és conegut amb precisió i per això els valors del GWP no s'han de considerar exactes. L'elecció d'aquest període vindrà determinat pel tipus d'efectes que es vulgui analitzar. Per a estudis en els que es vulgui predir efectes a llarg termini

s'utilitzaran temps llargs de 100 o 500 anys. Per a avaluar efectes de les emissions a curt termini s'utilitzaran temps d'integració de 20 a 50 anys. Normalment el més emprat pels diferents reguladors es un termini de 100 anys i també és el temps d'integració recomanat per Guinée *et al.* (2001).

Per al vapor d'aigua no se sol calcular el GWP encara que el vapor d'aigua té una influència significativa pel que fa a l'absorció de la radiació infraroja; tanmateix la seva concentració en l'atmosfera depèn principalment de la temperatura de l'aire. Com no hi ha cap possibilitat per influir directament en la concentració de vapor d'aigua a l'atmosfera, el GWP per a vapor d'aigua no es compta.

A la Taula 3.22 es resumeixen les característiques d'aquesta categoria d'impacte, així com els resultats de l'ICV que se li assignen.

Taula 3.22 Resum de les característiques de la categoria de Canvi Climàtic, CC (Font: Guinée *et al.*, 2001).

Categoria d'impacte	Canvi climàtic, CC
Resultats de l'ICV	Emissions a l'aire de gasos d'efecte hivernacle (kg)
Model de caracterització	Model desenvolupat per l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) definint el potencial d'escalfament global de diferents gasos d'efecte hivernacle
Indicador de categoria	Radiació infrarroja (W/m^2)
Factor de caracterització	Potencial d'escalfament global per un horitzó temporal de 100 anys, GWP_{100} (kg CO_2-eq/kg)
Unitats de l'indicador	kg CO_2-eq

3.3.1.4 Esgotament de l'ozó estratosfèric, ODI

La capa d'ozó està present a l'estratosfera i actua com a filtre absorbint la radiació ultraviolada. La disminució de la capa d'ozó provoca un increment de la quantitat de radiació UV-B que arriba a la superfície de la terra. Aquestes radiacions són la causa de l'augment d'algunes malalties en humans (càncer de pell, supressió del sistema inmunitari, cataractes...), afecten a la producció agrícola, provoquen la degradació de materials plàstics i interfereixen en els ecosistemes. La majoria dels clorurs i bromurs, procedents de compostos clorofluorocarbonats (CFCs) o dels halons, reaccionen en presència dels núvols estratosfèrics polars (PSCs) emetent clorurs i bromurs actius que, sota l'acció catalitzadora dels UV, provoquen la descomposició de l'ozó.

Guinée *et al.* (2002) calculen l'indicador de l'esgotament de l'ozó estratosfèric, ODI, com la suma dels potencials d'esgotament d'ozó per a les diferents substàncies (ODP_∞) multiplicats per la massa de cadascuna d'elles. Els ODP_∞ fan la funció de factors de caracterització. L'indicador s'expressa en unitats relatives a l'efecte que produeix 1 g de CFC-11 ($CFCl_3$). S'ha pres aquest compost com a referència perquè el seu efecte està molt ben estudiat i ha estat un dels principals responsables de la destrucció de l'ozó estratosfèric. L'indicador d'aquesta categoria es calcula segons l'equació 3.21 (WMO, 1999).

$$ODI(kgCFC-11-eq) = \sum_i ODP_{\infty,i} \cdot m_i \qquad (3.21)$$

On:

$ODP_{\infty,i}$ (kg CFC-11 –eq · kg^{-1}) = potencial d'esgotament a temps infinit de la substància "i", és a dir, la capacitat de destrucció de molècules d'ozó de la substància "i",

m_i (kg) = massa de la substància "i".

El concepte d'ODP va ser introduït per Wuebbles al 1988 (Guinée *et al.*, 2002). Es defineix com la relació entre la descomposició de l'ozó en estat d'equilibri degut a les emissions anuals, flux d'una quantitat de substància "i" (kg · any^{-1}) emesa a l'atmosfera i la descomposició de l'ozó en estat d'equilibri degut a una quantitat igual de CFC-11. S'expressa a l'equació 3.22 (Antón, 2004).

$$ODP_i\left(kgCFC-11-eq\cdot kg^{-1}\right)=\frac{\delta[O_3]_i}{\delta[O_3]_{CFC-11}} \qquad (3.22)$$

On:

$\delta[O_3]_i$ = descomposició de l'ozó en estat d'equilibri degut a les emissions anuals, flux d'una quantitat de substància "i" (kg · any^{-1}) emesa a l'atmosfera,

$\delta[O_3]_{CFC-11}$ = descomposició de l'ozó en estat d'equilibri degut a una quantitat igual de CFC-11.

La capacitat de destrucció de l'ozó depèn de la quantitat d'àtoms de clor i/o brom en la molècula i del temps que triga a degradar-se a l'atmosfera. Per exemple, el CFC-12 (CF_2Cl_2) té menys àtoms de clor que el CFC-11 ($CFCl_3$) i per això té un efecte menys intens. Els hidroclorofluorocarburs (HCFC) estan substituint els CFC perquè es degraden més ràpidament a l'atmosfera i per això tenen un efecte negatiu menor. Els halons, en canvi, poden tenir efectes més intensos; per exemple, l'haló 1301 (CF_3Br) té un efecte 12 vegades més fort que el CFC-11 (Xarxa Temàtica Catalana d'ACV, 2002).

L'organització meteorològica mundial (WMO) publica periòdicament estimacions dels ODPs per a diferents substàncies, acceptant que el temps d'integració és infinit per tractar-se de potencials estables en el temps.

A la Taula 3.23 es resumeixen les característiques d'aquesta categoria d'impacte, així com els resultats de l'ICV que se li assignen.

Taula 3.23 Resum de les característiques de la categoria d'Esgotament de l'ozó estratosfèric, ODI (Font: Guinée *et al.*, 2001).

Categoria d'impacte	Esgotament de l'ozó estratosfèric, ODI
Resultats de l'ICV	Emissió de gasos d'esgotament de l'ozó estratosfèric a l'aire (kg)
Model de caracterització	Model desenvolupat per l'Organització Mundial de Meteorologia (WMO), definint el potencial d'esgotament d'ozó estratosfèric per diferents gasos
Indicador de categoria	Depressió de l'ozó estratosfèric
Factor de caracterització	Potencial d'esgotament de l'ozó estratosfèric per un horitzó temporal infinit (ODP_∞) per cada emissió a l'aire (kg CFC-11-eq/kg)
Unitats de l'indicador	kg CFC-11-eq

3.3.1.5 Formació d'oxidants fotoquímics, FOF

Sota la influència de la radiació solar, els òxids de nitrogen (NO_x) reaccionen amb els compostos orgànics volàtils (COVs) per produir ozó troposfèric. Aquest fenomen té lloc principalment durant els mesos d'estiu. La presència de monòxid de carboni (CO) pot igualment contribuir a la formació d'ozó.

Aquests oxidants fotoquímics poden resultar perjudicials per a la salut humana, els ecosistemes i l'agricultura.

Per al càlcul de l'indicador de formació d'oxidants fotoquímics (FOF) s'utilitza com a factor de caracterització el Potencial de formació d'oxidants fotoquímics (POCP) (Guinée *et al.,* 2002). Es mesura respecte l'efecte produït per un kg d'etilè (C_2H_4) segons l'equació 3.23 (Derwent *et al.*, 1998).

$$FOF(kgC_2H_4 - eq) = \sum_i POCP_i \cdot m_i \qquad (3.23)$$

On:
m_i (kg) = massa de la substància "i",
POCP (kg C_2H_4-eq · kg^{-1} de gas) = potencial de formació d'oxidants fotoquímics.

POCF es defineix com la relació entre el canvi en la concentració d'ozó degut a un canvi en l'emissió d'un COV i el canvi en la concentració d'ozó degut a un canvi en l'emissió d'etilè. S'expressa mitjançant la fórmula 3.24 (Antón, 2004).

$$POCP_i(kgC_2H_4 - eq \cdot kg^{-1}gas) = \frac{a_i / b_i}{a_{C_2H_4} / b_{C_2H_4}} \qquad (3.24)$$

On:
a = canvi en la concentració d'ozó degut a un canvi en l'emissió de COV "i",
b = emissió del COV "i" integrada en el temps considerat.

El denominador conté aquestes mateixes variables per l'etilè, substància de referència.

S'han calculat els POCPs de diferents COVs, no obstant, aquest potencials poden variar en funció de la concentració inicial de NO_x assumida. Els NO_x actuen com a catalitzadors a aquesta reacció química, no són, per tant, consumidors, però en funció de la concentració de NO_x es veurà afectada la producció de foto-oxidants. Diferents factors com la concentració d'indústries, d'infrastructura de transports, etc., influiran en la concentració de NO_x. Guinée *et al.* (2001) proposa com factors de caracterització els POCPs per una concentració inicial de NO_x alta.

A la Taula 3.24 es resumeixen les característiques d'aquesta categoria d'impacte, així com els resultats de l'ICV que se li assignen.

Taula 3.24 Resum de les característiques de la categoria de Formació d'oxidants fotoquímics, FOF (Font: Guinée *et al.*, 2001).

Categoria d'impacte	Formació d'oxidants fotquímics, FOF
Resultats de l'ICV	Emissió de substàncies (COV, CO) a l'aire (kg)
Model de caracterització	Model de trajectòries d'UNECE
Indicador de categoria	Formació d'ozó troposfèric
Factor de caracterització	Potencial de creació d'ozó fotoquímic per una concentració alta de NO_x (high NO_x POCP) per cada emissió de COVs o CO a l'aire (kg C_2H_4-eq/kg d'emissió)
Unitats de l'indicador	kg C_2H_4-eq

3.3.1.6 Acidificació, Ac

Consisteix en la descomposició dels àcids resultants de l'alliberació d'òxids de nitrogen (NO_x) i sulfur a l'atmosfera, al sòl i a l'aigua, on pot variar l'acidesa del medi, cosa que afectarà a la flora i la fauna que habita en aquest, produeix desforestació i també pot afectar als materials de la construcció. Els contaminants que provoquen més acidificació són SO_2, NO_x i NH_x.

L'ús de combustibles fòssils provoca emissions d'òxids de sofre (principalment SO_2) i de nitrogen (NO_x) a l'aire. Aquests contaminats es combinen amb la humitat de l'atmosfera i formen àcid sulfúric (H_2SO_4) i nítric (HNO_3) que cauen en forma de pluja àcida. La pluja àcida afecta negativament els llacs i els boscos, la flora i la fauna, les terres agrícoles, les reserves d'aigua i la salut humana. Els efectes de la pluja àcida depenen de la sensibilitat de les zones afectades. A més, els òxids de nitrogen i de sofre no poden ser transportats a escala global, de manera que es diu que la pluja àcida és un impacte regional. Tanmateix, les regions a les quals pot afectar són extenses i sovint allunyades del focus emissor.

El factor de caracterització proposat per Guinée *et al.* (2001) és la mitjana europea AP i l'indicador per a la categoria d'acidificació, Ac, s'expressa a l'equació 3.25 (Huijbregts, 1999).

$$Ac(kgSO_2 - eq) = \sum_i AP_i \cdot m_i \qquad (3.25)$$

On:
m_i (kg) = massa de la substància "i" emesa,
AP_i (kg SO_2-eq · kg^{-1} de gas) = potencial d'acidificació de la substància "i".

L'acidificació és una de les categories d'impacte en que l'escala geogràfica adquireix importància. Processos o circumstàncies locals influiran a la contribució d'una substància a l'acidificació. Una alta mineralització i una elevada ràtio de desnitrificació reduiran la contribució dels compostos acidificants. També la contribució d'una substància es veurà reduïda si els anions que acompanyen als protons estan limitats al sistema o eliminats per la biomassa. Aquest és el cas principalment de NO_x i NH_3. La contribució d'aquests components poden variar de 0 a 100%. Existeixen diferents teories que suggereixen com actuar amb les diferències locals (Guinée *et al.,* 2002), d'entre totes elles cal destacar la suggerida per Hogan *et al.* (1996) que consisteix en menysprear les emissions en àrees no sensibles o bé en agregar les emissions basant-se en la sensibilitat de l'àrea en que són emeses (Hauschild i Wenzel, 1998). A la seva Tesis, Huijbregts (2001) estableix factors de caracterització calculats per la mitja europea per a les tres principals substàncies causants

de l'acidificació NO_x, NH_3 i SO_2. La consideració de danys locals deguts a efectes com l'acidificació es tracta extensivament a la Tesis de Sonnemann (2002).

A la Taula 3.25 es resumeixen les característiques d'aquesta categoria d'impacte, així com els resultats de l'ICV que se li assignen.

Taula 3.25 Resum de les característiques de la categoria d'Acidificació, Ac (Font: Guinée *et al*., 2001).

Categoria d'impacte	Acidificació, Ac
Resultats de l'ICV	Emissió de substàncies acidificants (kg) (NO_x, NH_3 i SO_2)
Model de caracterització	Model RAINS10, desenvolupat a IIASA i adaptat per ACV
Indicador de categoria	Càrrega crítica d'acidificació
Factor de caracterització	Potencial d'acidificació (avarage Europena AP) (kg SO_2-eq/kg d'emissió)
Unitats de l'indicador	kg SO_2-eq

Seria especialment interessant considerar aquesta categoria si es contemplessin l'emissió al mar de l'aigua depurada, la reutilització de les aigües regenerades i l'impacte de la destinació final dels fangs tractats.

3.3.1.7 Eutrofització, Eu

A aquesta categoria s'inclouen els impactes deguts a un alt nivell dels macronutrients, els més importants són el nitrogen (N) i el fòsfor (P). L'increment de macronutrients pot representar un augment de la producció de biomassa als ecosistemes terrestres i aquàtics. A més, una aigua superficial amb una concentració alta de nutrients pot ser considerada com a no acceptable com a font d'aigua de boca. Un augment de les algues als ecosistemes aquàtics produirà una disminució del contingut d'oxigen degut a que la descomposició de la biomassa consumirà oxigen mesurat com a demanda bioquímica d'oxigen (DBO). Aquest consum d'oxigen pot conduir a condicions anaeròbies que provocaran la descomposició causada per bacteris anaerobis que alliberaran CH_4, H_2S i NH_3. En últim terme desapareix qualsevol tipus de vida aeròbia. El procés d'eutrofització augmenta a l'estiu.

L'augment de N i P a l'aigua es pot donar degut a la presència de sediments provinents de les aigües residuals domèstiques i industrials, per l'acumulació de residus (com la que es pot donar a un abocador amb la conseqüent generació de lixiviats), etc.

L'emissió de matèria orgànica degradable té impactes similars, per això, aquest tipus d'emissions també es consideren dins de la categoria d'eutrofització (Guinée *et al.,* 2001).

L'eutrofització causada pel N i el P és quantificada i sumada per al càlcul de la seva contribució potencial a la formació de biomassa (Guinée *et al.*, 2002). Guinée *et al.* (2001) proposa usar els potencials d'eutrofització genèrics (EP) com a factors de caracterització per a calcular l'indicador total per a la categoria d'Eutrofització, Eu (veure equació 3.26, Heijungs *et al.* (1992)).

$$Eu\left(kgPO_4^{3-} - eq\right) = \sum_i EP_i \cdot m_i \qquad (3.26)$$

On:
m_i (kg) = massa de la substància "i" emesa a l'aire, aigua o sòl,
EP_i (kg PO_4^{3-}-eq · kg^{-1}) = potencial d'eutorfització de la substància "i" emesa a l'aire, l'aigua o el sòl.

El càlcul de EP_i es realitza segons l'equació 3.27 (Antón, 2004).

$$EP_i\left(kgPO_4^{3-} - eq \cdot kg^{-1}\right) = \frac{\frac{v_i}{M_i} \cdot \frac{N_{O_2}}{A_e}}{\frac{1}{M_{PO_4^{3-}}} \cdot \frac{N_{O_2}}{A_p}} \qquad (3.27)$$

On:
v_i = número de mols de N o P a la molècula del compost "i",
M_i (kg · mol^{-1}) = massa molecular,
N_{O2} = número de mols d'O_2 consumits durant la degradació de les algues,
A_e = número de mols de N o P continguts a una molècula d'algues.

Es pren la composició de l'alga "Redfield" ($C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P$) assumint-se aquesta com la composició mitja dels organismes aquàtics (Guinée *et al.*, 2002). L'oxigen requerit per a la seva degradació es mesurarà en forma de demanda química d'oxigen (DQO), assumint-se que un mol de biomassa precisarà de 138 mols d'O_2 per a la seva degradació.

A la Taula 3.26 es resumeixen les característiques d'aquesta categoria d'impacte, així com els resultats de l'ICV que se li assignen.

Taula 3.26 Resum de les característiques de la categoria d'Eutrofització, Eu (Font: Guinée *et al.*, 2001).

Categoria d'impacte	Eutrofització, Eu
Resultats de l'ICV	Emissió de nutrients a l'aire, l'aigua i el sòl (kg) (nitrats, nitrogen, DQO, N_2O)
Model de caracterització	Procediment Estoiquiomètric, que identifica les equivalències entre N i P pels sistemes aquàtic i terrestre.
Indicador de categoria	Deposició/N/P equivalents en biomassa
Factor de caracterització	Potencial d'eutrofització (Generic EP) per cada emissió eutrofitzant a l'aire, l'aigua i el sòl (kg PO_4^{3-}-eq/kg)
Unitats de l'indicador	kg PO_4^{3-}-eq

Seria especialment interessant considerar aquesta categoria si es contemplessin l'emissió al mar de l'aigua depurada, la reutilització de les aigües regenerades i l'impacte de la destinació final dels fangs tractats.

3.3.1.8 Toxicitat

A aquesta categoria es contemplen els efectes sobre els humans i els ecosistemes aquàtics i terrestres de les substàncies tòxiques existents a l'ambient. Aquestes categories són aquelles per a les quals el factor destí i especialment el transport a través de diferents medis té més importància.

Un contaminant no roman en el medi o compartiment ambiental (aire, sòl, aigua superficial, aigua subterrània, mar, etc.) en el que és emès sinó que es pot desplaçar i arribar a altres compartiments que seran també contaminats. Una determinada substància pot, fins i tot, ser més nociva en un medi diferents al de la seva emissió.

En molts processos industrials moderns s'utilitzen substàncies perilloses o tòxiques per a les persones i/o per als ecosistemes. La toxicitat d'una substància dependrà de la pròpia substància, però també de la via d'administració o exposició, la dosi, la manera com s'administra, etc. Fins i tot els contaminants i les substàncies presents al medi en baixa concentració (metalls pesants com el plom, el mercuri, etc. o substàncies orgàniques com les dioxines, els policlorobifenils (PCB), alguns pesticides, etc.) es poden acumular fins a nivells crítics o letals en els nivells tròfics superiors a través de la biomagnificació. Altres intervencions sobre el medi que poden causar toxicitat són l'emissió de partícules (que poden penetrar als pulmons i causar problemes respiratoris) i l'emissió de radiacions de les centrals nuclears de producció d'electricitat o altres instal·lacions associades al cicle nuclear. També sembla que es generen problemes a la salut a causa dels camps electromagnètics generats per les línies d'alta tensió o les microones rebudes pels receptors de telefonia mòbil.

El càlcul d'aquestes categories (toxicitat humana i ecotoxicitat) depèn de l'horitzó temporal amb el que es vulgui fer l'estudi i de si l'escala de l'estudi és continental o global.

El càlcul de la categoria d'impacte de toxicitat humana, Th, vindrà determinat per l'equació 3.28 (Guinée *et al.*, 2001). El factor de caracterització recomanat com a "baseline" ($HTP_{\infty,global}$) considera un temps infinit i una escala global.

$$Th(kg1{,}4DCB-eq)=\sum_{i}\sum_{ecom}HTP_{ecom,i}\cdot m_{ecom,i} \qquad (3.28)$$

On.

$HTP_{ecom,i}$ (kg 1,4-diclorobenzè-eq / kg) = potencial de toxicitat humana de la substància "i" emesa al compartiment ambiental "ecom" (aire, aigua dolça, aigua marina, sòl on es practica l'agricultura o sól industrial),

$m_{ecom,i}$ (kg) = massa emesa de contaminant "i" al compartiment ambiental "ecom".

Nota: DCB és l'abreviació de diclorobenzè.

D'igual manera, el càlcul de l'eco-toxicitat, ET, serà segons l'expressió 3.29.

$$ET(kg1{,}4DCB-eq)=\sum_{i}\sum_{ecom}ETP_{ecom,i}\cdot m_{ecom,i} \qquad (3.29)$$

On:

$ETP_{ecom,i}$ (kg 1,4-diclorobenzè-eq / kg) = potencial d'eco-toxicitat de la substància "i" emesa al compartiment ambiental "ecom" (aire, aigua dolça, aigua marina, sòl on es practica l'agricultura o sól industrial). El seu valor depèn de si es tracta de l'eco-toxicitat a l'aigua dolça (FAETP), l'eco-toxicitat a l'aigua marina (MAETP), l'eco-toxicitat per sedimentació a l'aigua dolça (FSETP),

l'eco-toxicitat per sedimentació a l'aigua marina (MSETP) o l'eco-toxicitat terrestre (TETP),

$m_{ecom,i}$ (kg) = massa emesa de contaminant "i" al compartiment ambiental "ecom".

A vegades, també es distingeix entre toxicitat aguda i toxicitat crònica, ja que moltes substàncies són emeses en concentracions molt baixes com per matar un individu (toxicitat aguda), però en canvi el seu efecte es nota a llarg termini (toxicitat crònica). Alguns tipus de càncer, per exemple, són el resultat de l'exposició prolongada a determinades substàncies o a radiacions.

A les Taules 3.27 i 3.28 es resumeixen les característiques d'aquesta categoria d'impacte, així com els resultats de l'ICV que se li assignen.

Taula 3.27 Resum de les característiques de la categoria de Toxicitat humana, Th (Font: Guinée *et al*., 2001).

Categoria d'impacte	Toxicitat
Subcategoria d'impacte	Toxicitat humana, Th
Resultats de l'ICV	Emissió de substàncies tòxiques a l'aire, l'aigua i el sòl (kg)
Model de caracterització	Model USES 2.0, desenvolupat a RIVM i adaptat per ACV
Indicador de categoria	Ingesta diària acceptable/ingesta diària predita
Factor de caracterització	Potencial de toxicitat humana ($HTP_{\infty, global}$) (kg 1,4-diclorobenzè-eq/kg)
Unitats de l'indicador	kg 1,4-diclorobenzè-eq

Taula 3.28 Resum de les característiques de la categoria de Eco-toxicitat, ET (Font: Guinée *et al*., 2001).

Categoria d'impacte	Toxicitat
Subcategoria d'impacte	Eco-toxicitat, ET
Resultats de l'ICV	Emissió de substàncies tòxiques a l'aire, l'aigua i el sòl (kg)
Model de caracterització	Model USES 2.0, desenvolupat a RIVM i adaptat per ACV
Indicador de categoria	Concentració ambiental predita/Concentració sense efectes predita
Factor de caracterització	Potencial d'eco-toxitat ($ETP_{\infty, global}$) (kg 1,4-diclorobenzè-eq/kg)
Unitats de l'indicador	kg 1,4-diclorobenzè-eq

Seria especialement interessant estudiar aquesta categoria si es considerés l'aplicació final del fang, en agricultura, per exemple.

3.3.1.9 Olor

L'olor esdevé un problema quan la concentració de substàncies oloroses es percep com a desagradable per part de l'ésser humà. Si una olor es considera pudor, dependrà de cada individu. Però per sobre de certs nivells d'emissió, qualsevol persona considerarà que fa pudor. Aquesta categoria d'impacte es divideix en dos: aire pudent (olor en suspensió en l'aire) i aigua pudent.

Pel càcul de l'olor de l'aire pudent es fa servir l'equació 3.30 (Roos, 1989).

$$airepudent\left(m^3\right) = \sum_i \frac{1}{OTV_i} \cdot m_i \qquad (3.30)$$

On:
$1/OTV_i$ (m^3/kg) = factor de caracterització pel càlcul de la categoria d'olors de la substància "i" emesa a l'aire, igual a la inversa del llindar d'olor en l'aire,
m_i (kg) = quantitat de substància "i" emesa.

Guinée *et al.* (2001) no contempla el càlcul de l'aigua pudent.

A la Taula 3.29 es resumeixen les característiques d'aquesta categoria d'impacte, així com els resultats de l'ICV que se li assignen.

Taula 3.29 Resum de les característiques de la categoria d'Olor, O (Font: Guinée *et al.*, 2001).

Categoria d'impacte	Olor, O
Subcategoria d'impacte	Aire pudent
Resultats de l'ICV	Emissió de substàncies oloroses a l'aire (kg)
Model de caracterització	Inversa del llindar d'olor en l'aire (1/OTV)
Indicador de categoria	Volume d'aire ple de l'olor llindar
Factor de caracterització	Inversa del llindar d'olor en l'aire (1/OTV) (m^3/kg)
Unitats de l'indicador	m^3 (aire)

3.3.1.10 Soroll

El soroll, o la molèstia sonora, fa referència als impactes ambientals del so. En principi, aquests impactes poden afectar a la salut humana i a la salut dels ecosistemes, però els mecanismes ambientals amb els quals s'explica aquesta afestació són complexes, no lineals i altament dependents de les circumstàncies locals. A més, el soroll és similar a l'olor, en el sentit que un mateix nivell d'exposició és experimentat de diferent manera segons l'individu. Allò que és considerat com a molèstia per una persona pot ser apreciat per una altra. Per tant, si les ones sonores comportaran molèstia o no, depèn de la situació i de la persona en qüestió.

Guinée *et al.* (2001) proposa una agregació de les emissions sonores amb factors de caracterització iguals a 1.

A la Taula 3.30 es resumeixen les característiques d'aquesta categoria d'impacte, així com els resultats de l'ICV que se li assignen.

Taula 3.30 Resum de les característiques de la categoria del Soroll, S (Font: Guinée *et al.*, 2001).

Categoria d'impacte	Soroll, S
Resultats de l'ICV	Emissions de so ($Pa^2 \cdot s$)
Model de caracterització	Agregació del soroll amb factors de caracterització iguals a 1
Indicador de categoria	Soroll
Factor de caracterització	1
Unitats de l'indicador	$Pa^2 \cdot s$ (soroll)

3.3.2 Classificació

Pel que s'ha vist amb anterioritat, només es podran avaluar tres categories d'impacte: Esgotament de recursos abiòtics, Ús del sòl (Pèrdua del sòl) i Canvi climàtic, ja que no es disposa de dades per les altres categories o les dades de que es disposa no són adequades per avaluar les categories.

L'assignació dels resultats de l'ICV a les categories d'impacte s'observa a la Taula 3.31.

Taula 3.31 Assignació de resultat de l'ICV a les categories d'impacte.

Categoria d'impacte		**Resultats de l'ICV d'aquest estudi que se li assignen**
Esgotament de recursos abiòtics	ERA	Consum de gas natural i d'energia fòssil (m^3, MJ)
Ús del sòl (Pèrdua del sòl)	US	Ús del sòl (en $m^2 \cdot$ dia)
Canvi climàtic	CC	Emissions de CO_2 (kg) degut al consum d'energia elèctrica de compra
Esgotament de l'ozó estratosfèric	ODI	No es tenen dades
Formació d'oxidants fotoquímics	FOF	No es tenen dades
Acidificació	Ac	No es tenen dades
Eutrofització	Eu	No es tenen dades
Toxicitat humana	Th	No es tenen dades
Eco-toxicitat	ET	No es tenen dades
Olor	O	No es tenen dades
Soroll	S	No es tenen dades

Pel càlcul de la categoria d'Esgotament de recursos abiòtics cal saber quin percentatge del consum d'energia elèctrica comprada té un origen fòssil. Segons la Xarxa Temàtica Catalana d'ACV (2002), el perfil de l'energia elèctrica a Espanya l'any 2000 era el reflectit a la Taula 3.32.

Taula 3.32 Perfil de l'energia elèctrica a Espanya l'any 2000 (Adaptat de: Xarxa Temàtica Catalana d'ACV, 2002).

Origen de l'energia elèctrica	**Percentatge**
Carbó	33,2%
Gas natural	10,1%
Nuclear	29,6%
Fuel	7,5%
Hidroelèctrica	16,9%
Altres renovables	2,7%

El carbó, el gas natural i el fuel es consideren fonts d'energia fòssil. La suma de totes tres és un 50,8%, per tant, el 50,8% del consum d'energia elèctrica de compra contribuirà a la categoria d'impacte d'Esgotament de recursos abiòtics.

Pel càlcul de la Pèrdua del sòl es considerarà un temps d'ocupació d'un dia, tal i com indica la unitat funcional. Les unitats de l'indicador d'aquesta categoria s'expressaran llavors com a $m^2 \cdot$ dia.

Pel càlcul de la categoria de Canvi climàtic es considerarà un temps d'integració T de 100 anys, ja que és el més comú i és recomanat per Guinée *et al.* (2001).

3.3.3 Caracterització

Per fer el càcul dels indicadors de les categories d'impacte i obtenir així el perfil ambiental de l'EDAR, s'han usat els factors de caracterització del mètode CML 2 baseline (Guinée *et al.*, 2001). Aquests factors també es poden trobar a l'Annex 3.

3.3.4 Elements optatius

En aquest estudi no es realitzarà la normalització dels resultats, perquè no es té el valor de referència per normalitzar, tot i que seria interessant a l'hora de quantificar l'impacte de l'EDAR; ni l'agrupació, perquè es tenen poques categories; ni la ponderació, perquè la ponderació deixa de tenir una base científica. Tampoc es farà un anàlisi de la qualitat de les dades.

3.3.5 Limitacions de l'AICV

Les limitacions de l'AICV venen definides per les pròpies normes UNE-EN ISO 14040 i UNE-EN ISO 14044, i es poden trobar a l'Annex 1.

Resumidament, les limitacions fan referència a: 1) que l'AICV només tracta els temes ambientals especificats a l'objectiu i l'abast; 2) que no sempre pot demostrar diferències significatives entre les categories d'impacte i els resultats dels seus indicadors corresponents per a diferents alternatives dels sistemes del producte; 3) que presenta incertesa en els resultats i 4) que no hi ha metodologies acceptades de forma general per associar de forma coherent i exacta les dades de l'inventari amb els impactes ambientals potencials específics.

3.3.6 Resultats de l'AICV

El perfil de l'AICV queda representat pels gràfics de la Figura 3.19 i a la Taula 3.33.

Taula 3.33 Resultats de l'AICV. Unitat funcional: 100 m^3/dia, durant un dia.

Procés o grup de processos	Categoria d'impacte			% sobre el total de l'EDAR	
	ERA	US (Pèrdua del sòl)	CC	ERA	CC
	kg Sb-eq	m^2·dia	kg CO_2-eq	%	%
EDAR	**26,27**	**27.988**	**2.865**	**100,0**	**100,0**
Línia de l'aigua	**2,87**	**sense dades**	**1.550**	**10,9**	**54,1**
Línia de fangs	**23,40**	**sense dades**	**1.315**	**89,1**	**45,9**
Espessiment primari per gravetat	5,13E-02	sense dades	28	0,2	1,0
Espessiment secundari per centrífuga	2,31E-01	sense dades	125	0,9	4,4
Bombes	4,57E-01	sense dades	247	1,7	8,6
Digestió (inclou agitació)	2,89E-01	sense dades	156	1,1	5,4
Gasòmetre	3,67E-01	sense dades	198	1,4	6,9
Motors de cogeneració	21,04	sense dades	41	80,1	1,4
Caldera d'oli	3,71E-01	sense dades	201	1,4	7,0
Deshidratació per centrífuga	2,31E-01	sense dades	125	0,9	4,4
Assecatge tèrmic	3,61E-01	sense dades	195	1,4	6,8

Nota: ERA=Esgotament de recursos abiòtics, US=Ús del sòl, CC=Canci climàtic.

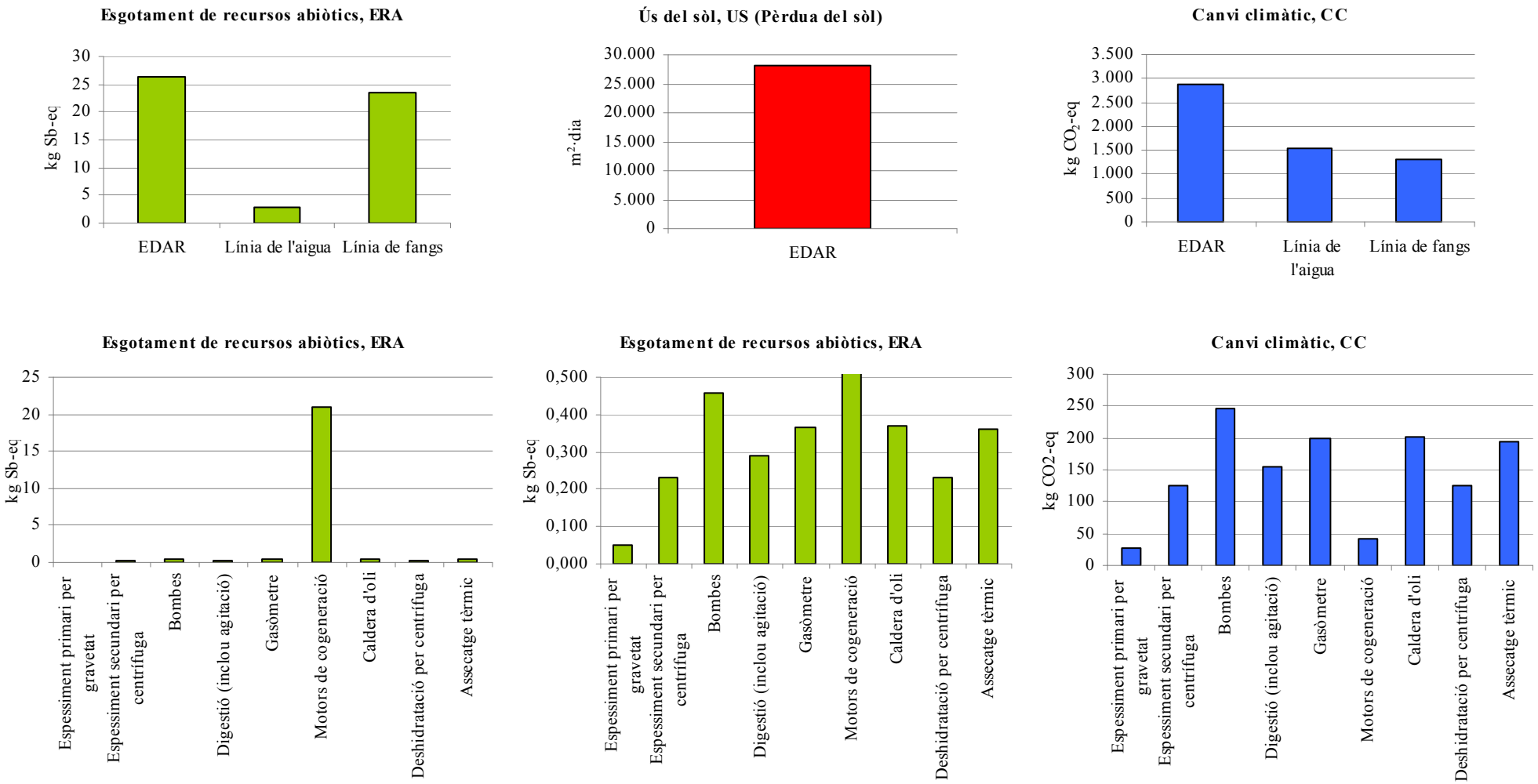

Figura 3.19 Perfil de l'AICV de l'EDAR del Baix Llobregat. Unitat funcional 100 m^3 fang espessit/dia, durant un dia.

3.4 INTERPRETACIÓ DEL CICLE DE VIDA

Abans de procedir al resum i discussió dels resultats de l'ICV i de l'AICV, cal recordar que els resultats de l'AICV estan basats en un enfocament relatiu, indiquen efectes ambientals potencials, no prediuen els impactes reals en els punts finals de categoria, ni si se sobrepassen els llindars, marges de seguretat o els riscs.

3.4.1 Identificació dels assumptes significatius

Primer de tot, cal destacar que només s'han obtingut resultats per a tres categories d'impacte degut a les limitacions a l'hora d'obtenir les dades. Aquestes categories són l'Esgotament de recursos abiòtics (ERA), l'Ús del sòl (US) i el Canvi climàtic (CC). L'ERA i el CC s'han pogut estudiar per cadascun dels processos unitaris definits, pel global de la línia de l'aigua i per l'EDAR sencera, i l'US només pel conjunt de tota la planta.

Les dades més rellevants de l'ICV a l'hora d'avaluar l'impacte ambiental del cicle de vida (AICV) són el consum elèctric, les emissions de CO_2 (que estan directament relacionades entre sí) i el consum de gas natural.

Els resultats de l'AICV es resumeixen a la Taula 3.34.

Taula 3.34 Resum de resultats de l'AICV. Unitat funcional: 100 m3/dia, durant un dia.

Processos globals	Categoria d'impacte					% sobre el total de l'EDAR	
	ERA (kg Sb-eq)		US (Pèrdua del sòl) (m^2·dia)	CC (kg CO_2-eq)		ERA	CC
EDAR	**26,27**		**27.988**	**2.865**		**100,0**	**100,0**
Línia de l'aigua	**2,87**		**sense dades**	**1.550**		**10,9**	**54,1**
Línia de fangs	**23,40**		**sense dades**	**1.315**		**89,1**	**45,9**
Processos de la línia de fangs	**Procés**	**Valor**		**Procés**	**Valor**		
Mínim impacte	Espessiment primari	0,05	sense dades	Espessiment primari (1)	28	0,2	1,0
Màxim impacte	Motors cogeneració	21,04	sense dades	Bombes	247	80,1	8,6

Nota: ERA=Esgotament de recursos abiòtics, US=Ús del sòl, CC=Canci climàtic.

(1) El següent mínim en el CC és dels motors de cogeneració (41 kg CO_2-eq, 1,4% del total de l'EDAR)

Abans d'analitzar els resultats de les diferents categories, cal destacar que no es pot apreciar quina és la importància relativa de cadascuna de les categories d'impacte per manca de valors de referència per comparar-les. Per exemple, no es pot saber si un valor de l'ERA de 26,27 kg Sb-eq, corresponent a tota l'EDAR, és alt o baix (el mateix passa amb les altres dues categories). Això és degut a que no s'han normalitzat els resultats de l'AICV. La idea de la importància relativa també es podria aconseguir mitjançant la comparació dels resultats amb els resultats d'altres sistemes.

Pel que fa a l'ERA, la línia de fangs té un impacte que representa el 89,1% de l'impacte de tota la planta. L'ERA es calcula a partir del consum de gas natural i d'energia elèctrica d'origen fòssil. El consum d'energia elèctrica de compra de les dues línies és similar, 3.286 kWh/dia per la de l'aigua i 2.788 kWh/dia per la de fangs, per tant, el factor determinant és el consum de gas natural de la línia de fangs, 1.121 Nm^3/dia, ja que la línia de l'aigua no en consumeix. A més, el factor de caracterització del gas natural és 45 vegades més gran que el factor per l'energia fòssil. Dins la línia de fangs, els motors de cogeneració constitueixen el procés unitari que té més impacte (21,04 kg Sb-eq), representant el 80,1% de l'impacte global de l'EDAR, mentre que la resta de processos no representen més d'un 2,0% individualment. Això és degut a que tot el gas natural que es consumeix en el tractament de fangs és consumit pels motors de cogeneració. La resta de processos tenen un impacte proporcional al seu consum d'energia fòssil, essent l'espessiment primari el procés que té menor impacte (0,0513 kg Sb-eq).

Pel que fa la categoria US (s'avalua la subcategoria de Pèrdua del sòl), només s'ha obtingut l'impacte global de tota la planta (27.988 m^2·dia). Cal mencionar que a l'hora de relacionar la superfície ocupada per l'EDAR amb la unitat funcional no es procedeix de la mateixa manera que amb la resta de dades, per fer-ho s'ha de tenir en compte que la superfície de la planta no varia en considerar els fluxos anuals o els fluxos diaris. A més, la superfície d'una planta no és proporcional als fluxos que es tracten, ja que una mateixa planta pot tractar diferents cabals per sota de la seva capacitat de tractament.

Pel que fa al CC, l'impacte de les dues línies de l'EDAR està més equilibrat. L'impacte de la de l'aigua representa el 54,1% del total de la planta, i el de la de fangs, el 45,9%. Aquesta similitud es deu a que els consums d'energia elèctrica de compra són similars per les dues línies i a que aquesta categoria es calcula a partir d'aquests consums. L'impacte dels diferents processos del tractament de fangs és proporcional al seu consum d'energia elèctrica de compra. El procés que més impacta és el funcionament de les bombes que impulsen el fang (247 kg CO_2-eq), perquè és el procés que més consumeix (523 kWh/dia), i representa un 8,6% respecte del total de la planta. El procés que té l'impacte més petit és l'espessiment primari per gravetat (28 kg CO_2-eq) i representa l'1,0% del total de la planta. La diferència entre l'impacte menor i el major no és tan gran com en el cas de l'ERA. A la Figura 3.20 s'aprecia la proporcionalitat entre el consum d'energia elèctrica de compra i la categoria d'impacte de Canvi climàtic, ja que s'observa que els gràfics prenen la mateixa forma.

S'ha de destacar que el procés de la línia de fangs que més impacta en l'Esgotament de recursos abiòtics, la cogeneració, és el segon que menys impacta en el Canvi climàtic (1,4% del total). Els motors de cogeneració constitueixen un dels processos que consumeixen menys electricitat de compra i, a més, són els que produeixen el 48% de l'energia que s'usa en tota la planta, permetent així reduir l'impacte sobre el Canvi climàtic de tota l'EDAR. L'impacte sobre l'ERA dels motors de cogeneració representa el 80,1% del total de la planta i és degut al consum de gas natural. Amb tot, sembla que si s'augmentés la producció de biogàs, es reduiria el consum de gas natural dels motors de cogeneració i es generaria més energia elèctrica, reduint així l'impacte sobre el CC de tota la planta i sobre l'ERA dels motors de cogeneració i de l'EDAR. S'hauria de comprovar que els canvis en la configuració de l'EDAR per a la producció de més biogàs i la gestió d'aquest augment, no comportessin increments en d'altres impactes ambientals.

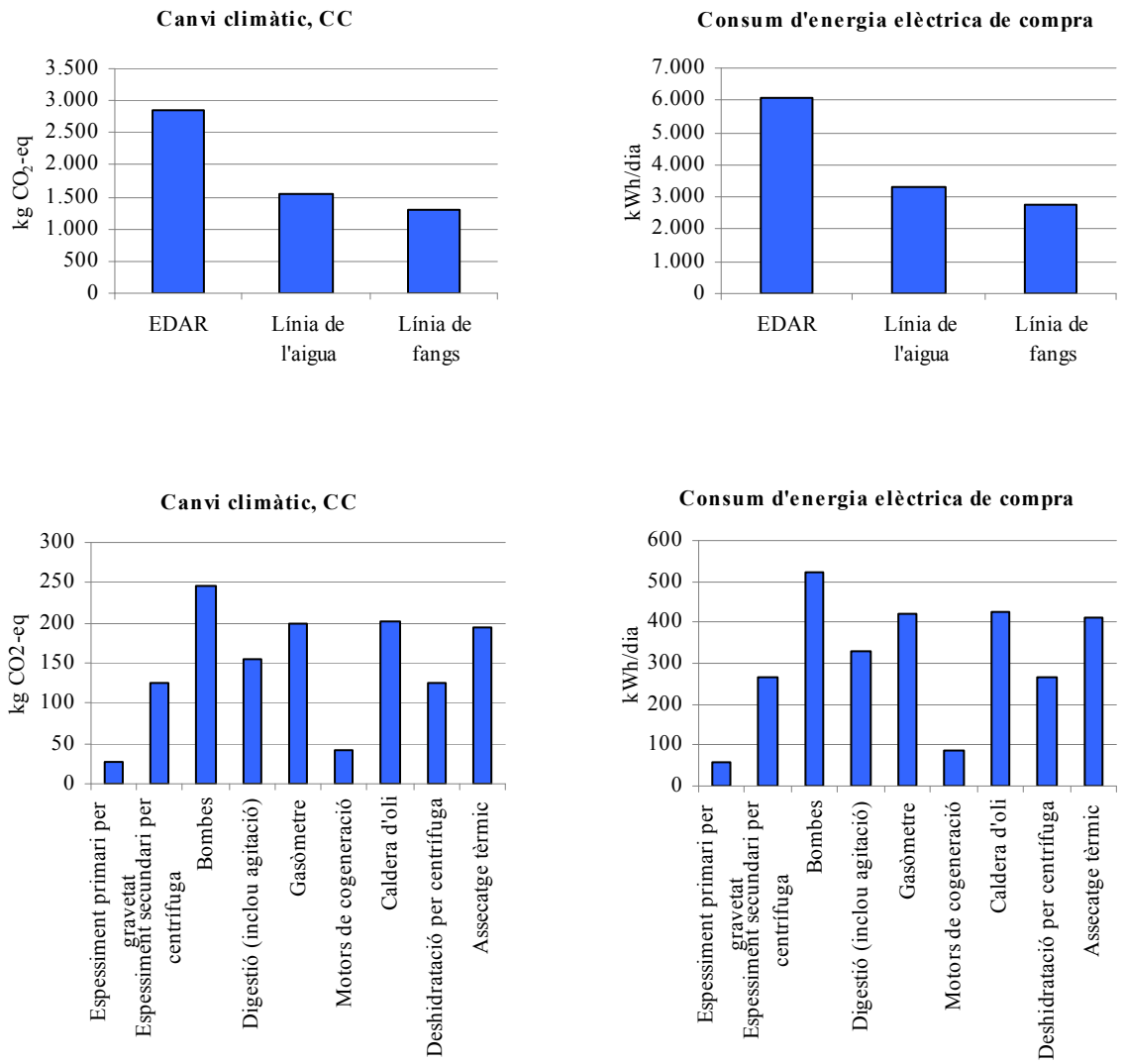

Figura 3.20 Proporcionalitat entre la categoria de Canvi climàtic i el consum d'energia elèctrica de compra.

3.4.2 Avaluació

Per tal de seguir íntegrament les indicacions de les normes UNE-EN ISO 14040 i 14044, s'hauria de realitzar una verificació de l'anàlisi d'integritat, una verificació de l'anàlisi de sensibilitat i una verificació de l'anàlisi de coherència, per enfortir la confiança i la fiabilitat en els resultats de l'estudi de l'ACV. S'haurien de completar aquestes verificacions amb els resultats dels anàlisis d'incertesa i de l'anàlisi de la qualitat de les dades.

En aquesta tesina, es dóna per suposat que les dades facilitades per l'EDAR són certes i provenen íntegrament de les mesures que es fan a la planta. A més, s'han estudiat les dades facilitades per l'EDAR del Baix Llobregat per tal de garantir la seva coherència i s'han corregit els errors que s'han trobat.

3.4.3 Conclusions, limitacions i recomanacions

Les conclusions que s'extreuen dels resultats de l'ACV són:

- El major impacte sobre l'Esgotament de recursos abiòtics (80,1% del total) es produeix a la línia de fangs, concretament, als motors de cogeneració.
- L'impacte sobre el Canvi climàtic està més repartit entre la línia de l'aigua i la de fangs (54,1% i 45,9% respectivament), i també dins dels processos de la línia de fangs (impactes entre l'1,0% i el 8,6% del total). Els motors de cogeneració tenen un dels impactes més baixos sobre el Canvi climàtic (1,4% del total).
- Per tant, per tal de reduir els impactes de l'EDAR, caldria augmentar la producció de biogàs per reduir el consum de gas natural als motors de cogeneració i el consum d'electricitat de compra, disminuint així l'ERA i el CC. Caldria comprovar que els requeriments energètics i de consum de matèries primeres per augmentar la producció de biogàs no comportessin increments en d'altres impactes ambientals, reduint la millora que, a priori, suposaria un agument de la producció de biogàs.
- Seria interessant tenir valors de referència per valorar la importància relativa dels resultats de l'AICV.

Les principals limitacions que presenta aquest estudi són:

- La dificultat en l'obtenció de les dades i el requeriment temporal per aconseguir-les i tractar-les correctament provoca que s'hagin d'excloure parts del cicle de vida (construcció de la planta, transport de l'aigua residual fins la planta, efecte ambiental de les destinacions finals de l'aigua depurada o els fangs, etc.) o es deixin d'estudiar els impactes d'alguns processos (extracció de matèries primeres, ús d'aigua potable, etc.).
- L'ús de factors de caracterització que no tenen en compte la importància de la localització a l'hora de realitzar l'ACV.
- L'avaluació de la qualitat de les dades i dels resultats no és tan rigorosa com demanenen les normes UNE-EN ISO 14040 i 14044.
- No es consideren els aspectes econòmics o socials del sistema.

Amb tot, els recomanacions que es desprenen d'aquest estudi d'ACV de l'EDAR del Baix Llobregat són:

- Completar l'estudi amb les parts del cicle de vida i els processos que s'han exclòs en aquest ACV degut a limitacions pràctiques.
- Repetir l'estudi amb factors de caracterització que considerin els efectes de la localització i comparar-ne els resultats.
- Realitzar una normalització dels resultats de l'AICV, mantenint els originals per no perdre objectivitat en l'estudi, o comparar els resultats amb els d'un altre sistema per apreciar la importància relativa dels resultats de l'AICV.
- Fer un anàlisi de la incertesa i la qualitat de les dades, un estudi de la incertesa dels resultats de l'ICV i un anàlisi de sensibilitat dels resultats obtinguts de l'ACV per tal d'augmentar la confiança i la fiabilitat en les dades i els resultats, tal i com indiquen les normes UNE-EN ISO 14040 i 14044.
- Buscar un mètode per considerar els aspectes econòmics i socials del sistema estudiat.
- Fer un ACV de les alternatives per augmentar la producció de biogàs i comparar els resultats amb els d'aquest ACV. Aquest estudi requeriria un anàlisi més acurat dels aprofitaments de l'energia tèrmica de l'EDAR (la suma de l'energia elèctrica produïda pel motor de cogeneració, l'aprofitament energètic del calor dels gasos d'escapament de la culata del motor de cogeneració per escalfar el fang a digestió i

les pèrdues energètiques del motor, han de donar el 100% de l'energia que es podria produir amb la quantitat de biogàs enviada al motor de cogeneració).

4 CONCLUSIONS I RECOMANACIONS

4.1 CONCLUSIONS

4.1.1 Conclusions de l'ACV de l'EDAR del Baix Llobregat

En aquesta tesina s'ha fet un ACV de l'EDAR del Baix Llobregat a partir de les dades de camp facilitades pel personal de l'EDAR i d'algunes dades teòriques de la bibliografia. S'han avaluat les categories d'impacte corresponents a les dades disponibles, és a dir, l'Esgotament de recursos abiòtics, l'Ús del sòl i el Canvi climàtic. Els resultats obtinguts mostren que:

- L'impacte de l'EDAR sobre l'Esgotament de recursos abiòtics és de 26,27 kg Sb-eq. La línia de fangs representa el 89% de l'impacte de tota l'EDAR, i la major part és deguda al consum de gas natural dels motors de cogeneració (80%). El procés que menys impacta és l'espessiment primari per gravetat (0,2%).

- L'impacte de l'EDAR sobre l'Ús del sòl (s'avalua la subcategoria de Pèrdua del sòl) és de 28.000 m^2·dia.

- L'impacte de l'EDAR sobre el Canvi climàtic és de 2.865 kg CO_2-eq. La línia de fangs representa el 46% de l'impacte de tota l'EDAR. L'impacte està directament relacionat amb les emissions de CO_2 que es generen en la producció d'energia elèctrica a l'exterior a la planta i que es consumeix a la planta. Els impactes dels processos de la línia de fangs van des del 8,6% respecte del global de les bombes fins el 1,0% de l'espessiment primari. Els motors de cogeneració tenen un impacte del 1,4% respecte del total i generen el 48% de tota l'energia elèctrica consumida a la planta.

La conclusió que es desprèn dels resultats de l'ACV és que per a millorar el comportament ambiental de l'EDAR del Baix Llobregat s'hauria d'augmentar la producció de biogàs, per tal de reduir el consum de gas natural als motors de cogeneració i el consum d'electricitat de compra, cosa que permetria disminuir l'Esgotament de recursos abiòtics i el Canvi climàtic. Caldria comprovar, però, que els requeriments energètics i de consum de matèries primeres necessaris per augmentar la producció de biogàs no comportessin altres impactes ambientals, reduint la millora que, a priori, suposaria un agument de la producció de biogàs.

Cal mencionar que per valorar la importància relativa de l'impacte global de l'EDAR caldria normalitzar els resultats de l'avaluació de l'impacte del cicle de vida segons un sistema de referència o comparar-los amb els resultats de l'ACV d'un altre sistema.

4.1.2 Conclusions respecte la metodologia de l'ACV

De l'ús de l'Anàlisi del cicle de vida per fer aquest estudi ambiental se'n deriven les següents conclusions:

- L'ACV és un estudi ambiental complet per definició i novedós, ja que contempla totes les etapes del cicle de vida d'un producte o activitat i tots els possibles

impactes que aquest genera i, de moment, no se'n fa un ús extensiu a nivell nacional.

- Per fer un estudi d'ACV complet i rigorós, seguint les indicacions de les normes UNE-EN ISO 14040 i 14044, cal temps i mitjans per a la realització de totes les tasques (recollida de dades, ús de factors de caracterització, tractament de les dades, anàlisis de qualitat de les dades i dels mètodes, anàlisis de sensibilitat, etc.). Les limitacions pràctiques a l'hora de realitzar aquestes tasques poden provocar la reducció dels límits del sistema o la impossibilitat d'avaluar certes categories d'impacte.

- Per a que un ACV sigui representatiu geogràficament és necessari que les dades de partida i els factors de caracterització siguin locals.

- Generalment, l'ACV no considera els aspectes econòmics o socials d'un producte o d'una activitat, tot i que es podria aplicar la matiexa metologia per afegir aquests aspectes a l'estudi.

4.2 RECOMANACIONS

A partir d'aquesta tesina es recomana com a treball futur:

- Ampliar l'ACV de l'EDAR del Baix Llobregat considerant les dades que no s'han pogut obtenir i ampliant els límits del sistema, per tal d'estudiar els impactes de la construcció-manteniment-desmantellament de l'EDAR, de la reutilització de l'aigua regenerada (que comporta efectes positius pel medi), de l'abocament al mar de l'aigua depurada, del tractament dels residus que genera l'EDAR, de l'aplicació final del fang que surt de la planta, etc. També es podrien estudiar més en profunditat els efectes dels processos unitaris que configuren la línia de l'aigua.

- Fer un anàlisi de sensibilitat pels factors de caracterització usats en l'ACV de l'EDAR del Baix Llobregat i comprovar la importància de la localització. S'ha de tenir en compte que els treballs per a la creació d'un sistema de factors de caracterització pel territori espanyol no estan gaire avançats, per tant, es podria fer una aproximació inicial fent servir el mètode EDIP 2003 (Hauschild i Potting, 2004), que té en compte la importància de la localització en els factors de caracterització.

- Estudiar l'efecte d'un canvi en la configuració de l'EDAR del Baix Llobregat per obtenir més biogàs, com podria ser la conversió dels digestors anaerobis mesofílics a termofílics, la codigestió, el pre-tractament tèrmic, etc.

- Realitzar un ACV comparatiu per valorar quina seqüència de processos pel tractament de fangs és millor ambientalment (digestió, compostatge, estabilització amb cal, incineració, ús en agricultura, sistemes naturals, etc.). Els resultats d'aquest estudi dependran de la seva localització i podrien ajudar a decidir les alternatives més adequades per a la gestió d'aquests residus de les depuradores d'aigües residuals.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

Agences de l'eau Rhin-Meuse. (1999a), *Audit environnemental des filières d'élimination des boues d'épuration urbaines. Pre-étude de définition, analyse environnementale.* Les études des agences de l'eau. Étude nº 70.

Agence de l'eau Rhin-Meuse. (1999b), *Audit Environnemental et économique des filières d'élimination des boues d'épuration urbaines. Synthèse.* Les études des agences de l'eau. Étude nº 70.

Agència Catalana de l'Aigua. (2008a), *Instal·lacions de posttractament de fangs en servei.* [http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1224854461208201510244&_nfls=false] Data de consulta: desembre de 2008.

Agència Catalana de l'Aigua. (2008b), *Fitxes estacions de depuració d'aigües residuals.* [http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/depuradores_servei/dpdl_edar_pratdellobregat.pdf] Data de consulta: desembre de 2008.

Angelidaki, I. i Ahring, B.K. (1994), Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: effect of temperature. *Water Research*, 28(3), 727-731.

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

Aranda, A. (2008), *Bases de datos locales*. Seminario: Herramientas informáticas asociadas al ACV. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos.

Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S. i Crettaz, P. (1997), *Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Final Report.* Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission. DG VI Agriculture.

Baron, J.A. (2008), La gestió de fangs de les estacions depuradores d'aigües residual. A *Butlletí SAM de la Diputació de Barcelona*. Àrea de Medi Ambient.

Bengtsson, M., Lundin, M. i Sverker, M. (1997), *Life Cycle Assessment of wastewater systems. Case studies of conventional treatment, urine sorting and liquid composting in three Swedish municipalities.* Technical Environmental Planning Report, Göteborg.

Benz, M., Tafemer, A., Trauboth Müller, T. i Aydemir, M. (1995), *Klarschlamm-wohin Erne Ökobilanzierung verschiedener Klärschlamm-Entsorgungs-und-verwertungs-methoden.* Nachdiplo-mstudium in Umweftlehre, Institut fur Umweltwissenschaften, Universität Zurich.

Bridle, T. i Skrypski-Mantele, S. (2000), Assessment of sludge reuse options: a life cycle approach. *Water Science and Technology*, 41(8), 131-5.

Buhr, H.O. i Andrews, J.F. (1977), The thermophilic anaerobic digestion process. *Water Research*, 11, 129-143.

BUWAL (1998), *Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der Ökologischen Knappheit. Ökofaktorenn 1997.* Schriftenreihe Umwelt. nº 297, Bern.

Chassot, G.M. i Candinas, T. (1997), *Ökologische Beuteflung verschiedener Entsorgungsvarianten für den Klärschlamm der ARA Region Bern, Bericht zu Hd. der ARA Region Bern AG*, Institut für Umwehschutz und Landwirtschaft IUL Liebefeld, Bern.

Clauson-Kaas, J. (2000), *Environmental accounting - A decision support tool in WWTP.* COIW Consulting Enginners and Planners, Lyngby.

Climent M., Ferrer I., Baeza M.M., Artola A., Vázquez, F. i Font, X. (2007), Effects of secondary sludge pre-treatment on biogas production under thermophilic conditions. *Chemical Engineering Journal*, 133, 335-342.

Corbacho, C. (2008), La gestió de fangs de les estacions depuradores d'aigües residual. A *Butlletí SAM de la Diputació de Barcelona*. Àrea de Medi Ambient.

Derwent, R.G., Jenkin, K.E., Saunders, S.M. i Pilling, M.J. (1998), Photochemical ozone creation potentials for organic compounds in Northwest Europe calculated with a master chemical mechanism. *Atmosferic Environment*, 32 (14-15), 2429-2441.

Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Ecobilan. (2009), *Life Cycle Assessment History.*[https://www.ecobilan.com/uk_lca02.php] Data de consulta: abril de 2009.

Entitat del Medi Ambient (EMA) – EMSHTR. (2008), *Depuradora del Baix Llobregat.* [http://www.amb.cat/web/emma/aigua/sanejament/depuradores/depuradora_llobregat] i [http://www.ema-amb.com/ca/activitat/sanejament/depuradores_prat-llobregat.html] Data de consulta: desembre de 2008.

Fernandes, F. (1999), *Relatório PROSAB 01, Tema 4*. Universidade Estadual de Londrina.

Ferrer, I. (2008), *Study of the effect of process parameters on the thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge, evaluation of a thermal sludge pre-treatment and overall energetic assessment.* PhD Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona.

Ferrer I., Ponsá S., Vázquez F. i Font, X. (2008), Increasing biogas production by thermal (70 ºC) sludge pre-treatment prior to thermophilic anaerobic digestion. *Biochemical Engineering Journal*, 42(2), 186-192.

Ferrer I., Serrano, E., Ponsá S., Vázquez F. i Font X. (2009), Enhancement of thermophilic anaerobic sludge digestion by 70 ºC pre-treatment: Energy considerations. *Journal of Residuals Science and Technology*, 6(1), 11-18.

Finnveden, G. i Nilsson, M. (2005), Site-dependent life cycle impact assessment in Sweden. *International Journal of LCA*, 10, 235-239.

Flotats, X., Bonmatí, A. i Seró, M. (1997), Clasificación de tecnologías de digestión anaerobia. Aplicación en el aprovechamiento energético de residuos ganaderos, a *Tercer curs d'Enginyeria Ambiental*. Universitat de Lleida.

Goedkoop, M. i Spriensma, R. (2000), *The Eco-indicator 99 – A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology report*. PRé Consultatns B.V., Amersfoort.

Google Earth (2008), Image: 2008 Institut Cartogràfic de Catalunya, 2008 DigitalGlobe, 2008 Tele Atlas. (Última actualització en el moment de la consulta: 15 de novembre del 2007). Data de consulta: desembre de 2008.

Groupe de travail nouveaux combustibles dans l'industrie cimentière suisse. (1999), *Utilisation des boues d'épuration séchées dans 1'industrie cimentière suisse*. Ernst Easier + Partner.

Guinée, JB. (1995), *Development of a methodology for the envirnomnetal life-cycle assessment of products; with a case study on margarines.* Thesis, Leiden University.

Guinée, J.B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A., de Bruijn, J.S., van Duin, R. i Huijbregts, M.A.J. (2001), *Life Cycle Assessment. An operational guide to the ISO standards, vol 1, 2 i 3.* Centre of Environmental Science Leiden University (CML). Disponible a: [http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.htm]

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. i Huijbregts, M.A.J. (2002), *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO standards.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Hauschild, M. i Wenzel, H. (1998), *Environmental Assessment of products, Volume 2: Scientific backgroun).* Chapman and Hall, London.

Hauschild, M. i Potting, J. (2004), *Spatial differentiation in life cycle impact assessment - the EDIP-2003 methodology. Guidelines from the Danish EPA*. Technical University of Denmark.

Heijungs, R., Guinée, J.B., Huppes, G., Lankreijer, R.M., Udo de Haes, H.A., Wegener Sleeswijk, A., Ansems, A.M.M., Eggels, P.G., van Duin, R. i Goede, H.P. de (1992), *Environmental life cycle assessment of products: guide and backgrounds (part I and II)*. Centre of Environmental Science Leiden University (CML).

Hogan, L., Beal, R. i Hunt, R. (1996), Threshold inventory interpretation methodology: a case study of three juice container systems. *International Journal of Life Cycle Assessment,* 1(3), 159-167.

Hospido, A., Moreira, M.T., Omil, F., Fernández-Couto, M. i Feijoo, G. (2001), *Análisis del ciclo de vida y aplicación a EDAR: Gestión de lodos de depuradora.* Ponència del II Congreso Gallego de la Calidad, Santiago de Compostela.

Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J., Lee, H., Callander, B.A., Haites, E., Harris, N. i Maskell, K. (1994), Climate change 1994. Radiative forcing of climate change and and evaluation of the IPCC IS92 Emission scenarios. *Cambridge Universtity Press*.

Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. i Maskell, K. (1996), Climate change 1995: the science of climate change. *Cambridge Universtity Press*.

Houillon, G. i Jolliet, O. (2004), Life cycle assessment of processes for the treatment of wastewater urban sludge: energy and global warming analysis. *Journal of Cleaner Production,* 13, 287-299.

Huijbregts, M.A.J. (1999), *Priority assessment of toxic substances in LCA. Development and application of the multi-media fate, exposure and effect model USES-LCA.* IVAM environmental research, University of Amsterdam.

Huijbregts, M.A.J. (2001), *Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment*. Ph.D Thesis, University of Amsterdam.

Hwang, Y. i Hanaki, K. (2000), The generation of CO_2; in sewage sludge treatment systems: life cycle assessment. *Water Science and Technology*, 41(8), 107-13.

Köllner, T. (2000), Species-pool Effect Potentials (SPEP) as a yardstick to evaluate land-use impacts on biodiversity. *Journal of Cleaner Production*, 8 (4), 293-311.

Lindeijer, E., van Kampen, M., Fraanje, P.J., van Dobben, H.F., Nabuurs, G.J., Schouwenberg, E.P.A.G., Prins, A.H., Dankers, N. i Leopold, M.F. (1998), *Biodiversity and life support indicators for land use impacts in LCA.* Report W-DWW-98-059. Publication series raw materials. Ministry of transport, public works and water management, Delft.

Lundin, M., Bengtsson, M. i Molander, S. (2000), Life cycle assessment of wastewater systems: influence of system boundaries and scale on calculated environmental loads. *Environmental Science and Technology*, 34, 180-6.

Martín, N. (1998), *Estudio para la gestión y el aprovechamiento del biogás procedente de la línea de tratamiento de fangos de depuradora de aguas residuales urbanas (EDAR) de Lleida.* Projecte Final de Carrera, Universitat Politècnica de Catalunya.

Mels, A., Arjen, F., Nieuwenhuijzen, V., Van der Graaf, J., Klapwijk, B., Koning, J. i Rulkens, W. (1999), Sustainability criteria as a tool in the development of the sewage treatment methods. *Water Science and Technology,* 39(5), 243-250.

Metcalf & Eddy (2003), *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. Fourth edition.* McGraw-Hill, New York.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz. Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfaten. (2001*), Abfälle aus Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen*. Bericht zur Umwelt, Düsseldorf.

Müller, E.A., Kobel, B. i Widmer, B. (1999), *Bilan énergétique et de CO_2 pour les boues d'épuration: De l'élimination à l'utilisation.* Informations concemant la protection des eaux, cahier no. 31, Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage, Berne.

Neumayr, R. (1999), *Life Cycle Assessment: eine Ökologische Bilanz von Klärschlammverwertungsstrategien*, Diplomarbeit der Studienrichtung Landschaftsplanung und Landschaftspfelge an der Universität fur Bodenkultur Wien.

Pavlostathis, S. G. i Giraldo - Gómez, E. (1991), Kinetics of Anaerobic Treatment – A Critical Review. *CRC Critical Reviews in Environmental Control,* 21, 411-490.

Ponsá S., Ferrer I., Vázquez F. i Font, X. (2008), Optimization of the hydrolitic-acidogenic anaerobic digestion stage (55 ºC) of sewage sludge: influence of pH and solid content. *Water Research*, 42, 3972-3980.

Potting, J. i Hauschild, M. (2004), *Background for spatial differentiation in life-cycle impact assessment – the EDIP2003 methodology*. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen.

Potting, J. i Hauschild, M. (2006), Spatial differentiation in life cycle impact assessment - a decade of method development to increase the environmental realism of LCIA. *International Journal of LCA,* 11, 11-13.

Pré Consultants. (2009a), *The ecoinvent v2 database.* [http://www.pre.nl/ecoinvent/default.htm?gclid=CM7x9_mc8pcCFQ9WtAodjANADQ#top] Data de consulta: gener de 2009.

Pré Consultants. (2009b), *Impact assessment methods.* [http://www.pre.nl/simapro/impact_assessment_methods.htm] Data de consulta: gener de 2009.

Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.

Roos, C. (1989), *Vooronderzoek financiële consequenties van een geurbelevingsnorm.* MT-TNO report, Apeldoorn.

Serrano, E. (2008), *Evaluación y optimización de los balances energéticos calculados para la digestión anaerobia de fango de estación depuradora de aguas residuales (EDAR).* Tesina, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE).

Sperling, M. von i Andreoli, C.V. (2007), Chapter 1. Introduction to sludge management. A Andreoli, C.V., Sperling, M. Von i Fernandes, F., *Sludge treatment and disposal: Biological wastewater treatment series.* IWA Publishing.

Steen, B. (1999). *A systematic approach to environmental strategies in product development (EPS). Version 2000.* CPM report. Cente for Environmental Assessment of products and material systems, Chalmers University of technology.

Sonnemann, G.W. (2002), *Environmental Damage Estimations in industrial process chains. Methodology development with a case study on waste incineration and special focus on human health.* Ph. D. Thesis, Universitat Rovira Virgili.

Suh, Y.-J. i Rousseaux, P. (2001), An LCA of altenative wastewater sludge treatment scenarios. *Resources, Conservation and Recycling*, 35(3), 191-200.

Tallec, G., Garnier, J., Billen, G. i Gousailles, M. (2006), Nitrus oxid emissions from secondary activated sludge in nitrifying conditions of urban wastewater treatment plants: Effect of oxygenation level. *Water research*, 40, 2972-2980.

TEAM (1999), *Tools for Environmental Analysis and Management.* Ecobalance, Inc. o Ecobilan group. [http://www.ecobalance.com/uk_team.php]

Toffoletto, L., Cadotte, M., Deschenes, L. (2005), *New Characterization Factors for local and regional impact categories in Canada*. CIRAIG - Ecole Polytechnique, Montreal.

UNE-EN ISO 14040. Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida y Principios y marco de referencia. Comité técnico AEN/CTN 150 Gestión Medioambiental. (2006a), AENOR, Madrid.

UNE-EN ISO 14044. Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida y Requisitos y directrices. Comité técnico AEN/CTN 150 Gestión Medioambiental. (2006b), AENOR, Madrid.

UNEP. (2003), *Life Cycle Impact Assessment definition study: Background document III. Analysis of midpoint categories*. United Nations Environment Programme. Life Cycle Initiative. Paris.

UNEP-SETAC. (2008), *Life Cycle Initiative. United Nations Environmental Programme.* Sustainable Consumption Programme. Paris. [http://jp1.estis.net/sites/lcinit/default.asp?site=lcinit&page_id=15CFD910-956F-457D-BD0D-3EF35AB93D60] Data de consulta: novembre de 2008

Vicent, T. (1995), El procés de la digestió anaeròbia. A *Primer curs d'Enginyeria Ambiental de la Universitat de Lleida. Tractament anaerobi d'aigües residuals i residus de forta càrrega: paràmetres de dissenys i tecnologies en ús*. Universitat de Lleida.

Vidal, N., Poch, M., Martí, E. i Rodríguez-Roda, I. (2002), Evaluation of the environmental implications to include structural changes in a wastewater treatment plant. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology,* 77, 1206-1211.

Weidema, B.P. i Lindeijer, E. (2001), *Physical impacts of land use in product life cycle assessment.* Final report of the EURENVIRON-LCAGAPS sub-project on land use. Technical University of Denmark.

Wenzel, H., Hauschild, M. i Alting, L. (1997), *Environmental Assessment of Products. Volume 1 (methodology, tools and case studies in product development)*. Chapman & Hall, London, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA.

Wikilibros. (2009), *Arxiu: ESQUEMPEQUE.jpg, Autor: Josefpm* [http://es.wikibooks.org/wiki/Archivo:ESQUEMPEQUE.jpg] Data de consulta: abril de 2009.

WMO. (1999), *Scientific assessment of ozone depletion: 1998.* Global Ozone Research and Monitoring Project. Geneva.

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. Disponible a: [http://mediambient.gencat.net/cat/empreses/ipp/llibre_acv.pdf]

Young, S. i Vanderburg, H. (1994), Applying environmental Life Cycle Analysis to materials. *JOM*, xx, 22-27.

Zupancic, G. i Ros, M. (2003), Heat and energy requirements in thermophilic anaerobic sludgedigestion. *Renewable Energy*, 28, 2255-2267.

AGRAÏMENTS

M'agradaria expressar els meu agraïment a la Ivet Ferrer i Martí per orientar-me i fer el seguiment del desenvolupament d'aquesta tesina, a Joan Garcia Serrano per participar en la gestació de la mateixa, a Xavier Font per encaminar-la i aclarir-me les idees, a Rafael Mujeriego Sahuquillo, Antonio Palacios Anton i Enrique Velo Garcia per respondre als meus dubtes, a Joanquín Bosque Royo per ensenyar-nos l'EDAR del Baix Llobregat amb explicacions detallades, a Martín Gullón Santos per respondre als meus dubtes i agilitzar el procés d'obtenció de dades i, sobretot, a Pedro Aguiló Martos per facilitar-me totes les dades i respondre pacientment a totes les meves preguntes. També voldria agrair a l'Entitat del Medi Ambient (EMA) – EMSHTR, la cessió de les dades que aquesta tesina ha necessitat.

ANNEXES

1 ANNEX 1. METODOLOGIA DE L'ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA

1.1 DESCRIPCIÓ GENERAL DE L'ACV 3

1.1.1 Principis de l'ACV 3

1.1.2 Fases d'un ACV 3

1.1.3 Conceptes generals del sistema del producte 4

1.2 MARC DE REFERÈNCIA METODOLÒGIC 5

1.2.1 Requisits generals 5

1.2.2 Definició de l'objectiu i l'abast de l'estudi 5

1.2.2.1 Generalitats 5
1.2.2.2 Funció, unitat funcional i fluxos de referència 6
1.2.2.3 Límits del sistema 7
1.2.2.4 Tipus i fonts de dades 8
1.2.2.5 Requisits de qualitat de les dades 9
1.2.2.6 Comparacions entre sistemes 9
1.2.2.7 Consideracions de la revisió crítica 9

1.2.3 Anàlisi de l'inventari del cicle de vida (ICV) 10

1.2.3.1 Generalitats 10
1.2.3.2 Recopilació de dades 10
1.2.3.3 Càlcul de les dades 12
1.2.3.4 Assignació de fluxos i d'emissions i abocaments 13

1.2.4 Avaluació de l'impacte ambiental del cicle de vida (AICV) 14

1.2.4.1 Generalitats 14
1.2.4.2 Elements de l'AICV 15
1.2.4.3 L'AICV en estudis comparatius 18
1.2.4.4 Limitacions de l'AICV 18

1.2.5 Interpretació del cicle de vida 19

1.2.5.1 Generalitats 19
1.2.5.2 Identificació dels assumptes significatius 20
1.2.5.3 Avaluació 20
1.2.5.4 Conclusions, limitacions i recomanacions 21

1.3 INFORMES 21

1.3.1 Requisits i consideracions generals 21

1.3.2 Requisits addicionals i orientació per als informes per una tercera part ... 22

1.4 REVISIÓ CRÍTICA 24

1.4.1 Generalitats 25

1.4.2 Necessitat de revisió crítica 25

1.4.3 Processos de revisió crítica 25

1.4.3.1 Generalitats 25
1.4.3.2 Revisió crítica per experts interns o externs 25
1.4.3.3 Revisió crítica per una comissió de parts interessades 25

1.5 LIMITACIONS DE L'ACV 26

1.6 PROGRAMARI PER L'ACV 27

1.7 EXEMPLES DE FULLS DE RECOLLIDA DE DADES 28

1.7.1 Generalitats 28

1.7.2 Exemple de full de dades per al transport per carretera 28

1.7.3 Exemple de full de dades per al transport intern 28

1.7.4 Exemple de full de dades per a processos unitaris 29

1.7.5 Exemple de full de recollida de dades d'anàlisi de l'inventari del cicle de vida 29

1.8 EXEMPLES D'INTERPRETACIÓ DEL CICLE DE VIDA 30

1.8.1 Generalitats 30

1.8.2 Exemples per a la identificació dels assumptes significatius 30

1.8.3 Exemples d'elements d'avaluació 35

1.9 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES 38

1.1 DESCRIPCIÓ GENERAL DE L'ACV

1.1.1 Principis de l'ACV

Els principis que es presenten a continuació són els inclosos a la norma UNE-EN ISO 14040:2006, i s'haurien d'utilitzar com a orientació per prendre decisions relacionades tant amb la planificació com amb la realització d'un ACV.

1. Apreciació general del cicle de vida: es considera el cicle de vida complet a través d'una visió general i perspectiva sistemàtica per identificar, qualificar, verificar, avaluar i presentar les conclusions basades en les troballes d'un ACV.
2. Enfocament ambiental: tracta aspectes i impactes ambientals d'un sistema del producte, però no contempla aspectes i impactes econòmics i socials.
3. Enfocament relatiu i unitat funcional: totes les entrades i sortides en l'inventari del cicle de vida, i conseqüentment el perfil de l'avaluació de l'impacte del cicle de vida, es relacionen amb la unitat funcional.
4. Enfocament iteratiu: l'ACV és una tècnica iterativa. Les fases individuals d'un ACV utilitzen resultats de les altres fases. L'enfocament iteratiu a les fases i entre les fases contribueix a la integritat i coherència de l'estudi i dels resultats presentats.
5. Transparència: presentació de la informació de forma oberta, exhaustiva i comprensible per assegurar una adequada interpretació dels resultats.
6. Integritat: l'ACV considera tots els atributs o aspectes de l'entorn natural, de la salut humana i dels recursos.
7. Prioritat de l'enfocament científic: les decisions en un ACV es basen preferentment en les ciències naturals. Si això no és possible, es poden utilitzar altres enfocaments científics (com el de les ciències econòmiques i socials) o es poden fer referència a convencions internacionals. Si no existeix una base científica ni una justificació basada en altres enfocaments científics o en convencions internacionals, les decisions es poden basar en judicis de valor.

1.1.2 Fases d'un ACV

D'acord amb la norma UNE-EN ISO 14040:2006 un projecte d'ACV pot dividir-se en quatre fases:

1. Definició de l'objectiu i abast de l'estudi,
2. Anàlisi de l'inventari del cicle de vida (ICV),
3. Avaluació de l'impacte ambiental (AICV) i
4. Interpretació del cicle de vida.

Tal i com es mostra a la Figura 1.1 aquestes quatre fases no són simplement seqüencials. L'ACV és un tècnica iterativa que permet anar incrementant el nivell de detall en successives iteracions.

La comparació de resultats d'estudis d'ACV diferents, és possible només si les suposicions i el context de cada estudi són equivalents. Per tant, en la norma hi ha requisits i recomanacions per assegurar la transparència en aquests temes.

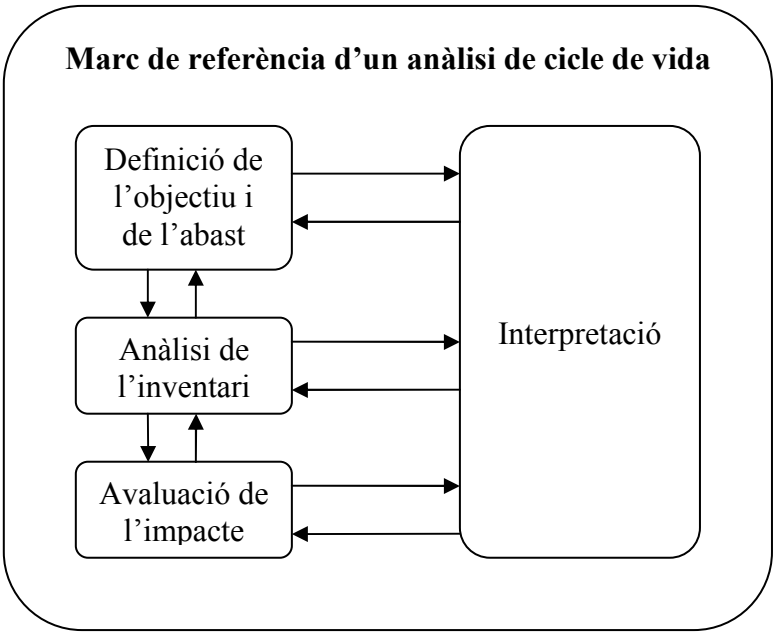

Figura 1.1 Fases d'un ACV. (Font: UNE-EN ISO 14040)

1.1.3 Conceptes generals del sistema del producte

Els conceptes generals que s'expliquen a continuació s'han extret de la norma UNE-EN ISO 14040:2006.

L'ACV modela el cicle de vida d'un producte com a un sistema del producte, el qual porta a terme una o més de les funcions definides.

La propietat fonamental d'un sistema del producte es caracteritza per la seva funció i no es pot definir solament en termes dels productes finals.

Els sistemes del producte se subdivideixen en un conjunt de processos unitaris (veure Figura 1.2). Els processos unitaris es vinculen entre sí mitjançant fluxos de productes intermedis i/o de residus per tractament, amb altres sistemes de producte mitjançant fluxos de producte, i amb el medi ambient mitjançant fluxos elementals.

La divisió d'un sistema del producte en els processos unitaris que el componen facilita la identificació de les entrades i sortides del sistema del producte. El nivell de detall del modelat que es requereix per satisfer l'objectiu de l'estudi determina els límits d'un procés unitari.

Els fluxos elementals inclouen la utilització de recursos i les emissions a l'aire, i els abocaments a l'aigua i al sòl associats amb el sistema. Poden inferir-se interpretacions d'aquestes dades, depenent de l'objectiu i l'abast de l'ACV. Aquestes dades són el resultat del ICV i constitueixen l'entrada per l'AICV.

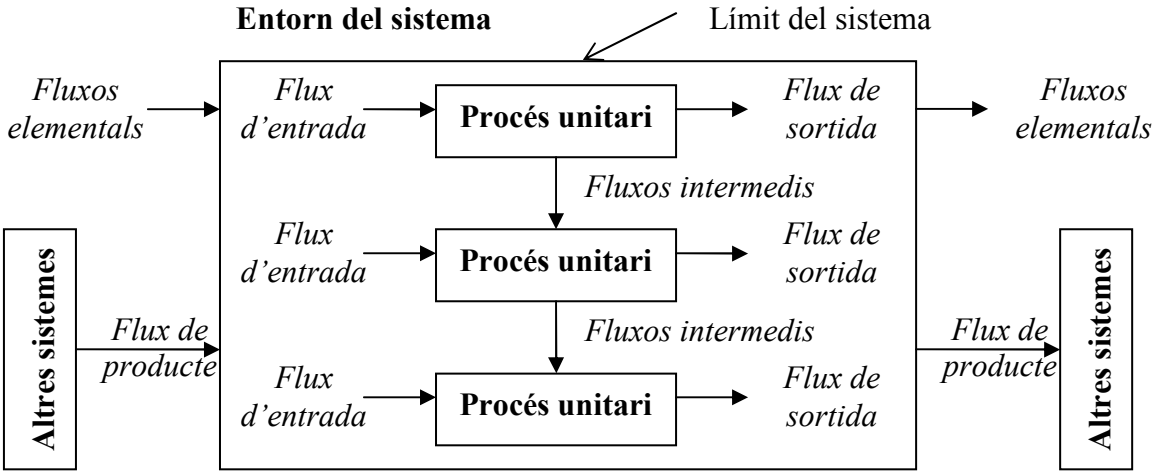

Figura 1.2 Exemple d'un conjunt de processos unitaris dins d'un sistema del producte. (Font: UNE-EN ISO 14040)

1.2 MARC DE REFERÈNCIA METODOLÒGIC

El contingut d'aquest apartat s'ha extret de les normes UNE-EN ISO 14040:2006 i UNE-EN ISO 14044:2006. En cas de que s'inclogui algun exemple o comentari que no provingui de la norma ISO s'indicarà adequadament en el moment en què aquests apareguin.

1.2.1 Requisits generals

Els estudis d'ACV han d'incloure la definició de l'objectiu i de l'abast, l'anàlisi de l'inventari, l'avaluació de l'impacte i la interpretació dels resultats.

Es reconeix que no hi ha base científica per reduir els resultats de l'ACV a un únic número o a una puntuació global.

1.2.2 Definició de l'objectiu i l'abast de l'estudi

1.2.2.1 Generalitats

L'objectiu i l'abast d'un ACV han d'estar clarament definits i han de ser coherents amb l'aplicació prevista. Degut a la naturalesa iterativa de l'ACV, l'abast pot ser retocat durant l'estudi.

L'objectiu d'un ACV estableix:

- l'aplicació prevista,
- les raons per a realitzar l'estudi,
- el públic previst, és a dir, les persones a qui es preveu comunicar els resultats de l'estudi, i

- si es preveu utilitzar els resultats en asseveracions comparatives que es divulgaran en públic.

L'abast hauria d'estar suficientment ben definit per a assegurar que l'amplitud, profunditat i el nivell de detall de l'estudi siguin compatibles i suficients per a arribar a l'objectiu establert.

L'abast inclou els següents punts:

- el sistema del producte a estudiar;
- les funcions del sistema del producte o, en el cas d'estudis comparatius, els sistemes;
- la unitat funcional;
- els límits del sistema;
- els procediments d'assignació;
- les categories d'impacte seleccionades i la metodologia d'avaluació d'impacte, els tipus d'impacte, i la subsegüent interpretació a utilitzar;
- requisits relatius a les dades;
- les suposicions;
- els judicis de valor i els elements opcionals,
- les limitacions;
- els requisits inicials de qualitat de les dades;
- el tipus de revisió crítica, si n'hi ha;
- el tipus i format de l'informe requerit per a l'estudi.

La tècnica de ACV és iterativa, i mentre es recopilen les dades i informació, pot ser que s'hagin de modificar alguns aspectes de l'abast per a satisfer l'objectiu original de l'estudi.

1.2.2.2 Funció, unitat funcional i fluxos de referència

Un sistema pot tenir diverses funcions possibles i la/les seleccionada/es per l'estudi depèn/en de l'objectiu i de l'abast de l'ACV. Només es podran comparar productes o serveis que compleixin la mateixa funció.

La unitat funcional descriu i quantifica la funció principal del sistema analitzat i proporciona una referència respecte de la qual les entrades i sortides del sistema poden ser normalitzades en un sentit matemàtic. Es necessita aquesta referència per a assegurar que els resultats de l'ACV són comparables. El caràcter comparatiu dels resultats dels ACV és particularment crític quan s'està avaluant sistemes diferents, donat que s'ha d'assegurar que aquestes comparacions es fan sobre una base comú.

A continuació es presenten alguns exemples d'unitats funcionals proposades per la Xarxa Temàtica Catalana d'ACV al Llibre Didàctic d'Anàlisi del Cicle de Vida (2002):

> Exemple 1: si volem comparar dues pintures exteriors podríem agafar com a unitat funcional "la quantitat de pintura necessària per mantenir ben pintat 1 m^2 de paret durant 10 anys"
>
> Exemple 2: si es vol comparar l'impacte ambiental dels llumins i d'un encenedor, es podria agafar com a unitat funcional "100 cigarrets encesos".

Exemple 3: en un ACV comparatiu del compostatge i l'abocament de la fracció orgànica dels residus municipals (FORM), la unitat funcional podria ser una tona de FORM tractada fins a la seva estabilització bioquímica.

A la Taula 1.1 es proposen unitats funcionals en una EDAR:

Taula 1.1 Possibles unitats funcionals en una EDAR

Activitat o funció	**Possible unitat funcional**
Depuració d'aigües residuals	1000 m^3/dia d'aigua residual tractada durant 25 anys
Tractament de fangs	100 m^3/dia de fang tractat durant 25 anys

És important determinar el flux de referència a cada sistema del producte, per a complir amb la funció prevista, és a dir, la quantitat de productes necessària per a complir la funció. Per a cada sistema del producte, es pot compilar un inventari d'entrades i sortides amb base als fluxos de referència.

Per exemple, per la funció: assecat de mans, la unitat funcional seria: número de parells de mans assecats, i el flux de referència seria: (per 2 sistemes del producte diferents) la massa de paper mitja per assecar un parell de mans o el volum d'aire calent mig per assecar un parell de mans (UNE-EN ISO 14040)

En el cas d'una EDAR, el flux de referència inclouria el consum elèctric per tractar 1 m^3 d'aigua residual o els m^3 de formigó necessaris per construir el reactor biològic per m^3 d'aigua residual.

1.2.2.3 Límits del sistema

Degut a la seva naturalesa global un ACV complet pot resultar molt extens. Per aquesta raó s'hauran d'establir uns límits perfectament identificats. Els límits del sistema determinen quins processos unitaris s'hauran d'incloure dins de l'ACV. Un procés unitari és l'element més petit considerat en l'anàlisi de l'inventari del cicle de vida pel qual es quantifiquen dades d'entrada i sortida.

Diferents factors determinen els límits del sistema, entre ells, l'objectiu i l'abast de l'estudi, l'aplicació prevista de l'estudi i el destinatari previst, les suposicions realitzades, les dades disponibles i les limitacions econòmiques, i els criteris d'exclusió. Només està permesa l'eliminació d'etapes del cicle de vida, processos, entrades o sortides, si això no modifica significativament les conclusions globals de l'estudi. Els criteris d'exclusió utilitzats en un estudi haurien de ser clarament descrits en l'informe de l'estudi, així com l'avaluació de l'efecte dels criteris d'exclusió seleccionats sobre el resultat de l'estudi.

Quan s'estableixen els límits del sistema, s'han de considerar diverses etapes del cicle de vida, processos unitaris i fluxos, com per exemple els següents:

- adquisició de matèries primeres,
- entrades i sortides en la seqüència principal de fabricació/processament,
- distribució/transport,
- producció i utilització de combustible, electricitat, calor,
- utilització i manteniment de productes,
- disposició dels residus del procés i dels productes,

- recuperació de productes utilitzats (incloent reutilització, reciclat i recuperació d'energia),
- producció de materials secundaris,
- producció, manteniment i desmantellament dels equips,
- operacions addicionals, com il·luminació i calefacció.

En molts casos, els sistemes definits inicialment hauran de ser reajustats.

És útil descriure el sistema utilitzant un diagrama de flux de processos que mostri els processos unitaris i les seves interrelacions. S'hauria de descriure inicialment cadascun dels processos unitaris per definir:

- on comença el procés unitari, en termes de recepció de matèries primeres o productes intermedis,
- la naturalesa de les transformacions i operacions que es duen a terme com a part del procés unitari, i
- on acaba el procés unitari en termes del destí dels productes intermedis o finals.

A la pràctica, s'utilitzen diversos criteris d'exclusió per decidir quines entrades s'inclouen en l'avaluació, com podrien ser la massa, l'energia i la importància ambiental.

a) Massa: s'inclouran a l'estudi totes les entrades que, de manera acumulativa, representin més que un percentatge definit en l'entrada de massa al sistema del producte que s'està modelant.
b) Energia: s'inclouran a l'estudi aquelles entrades que, de manera acumulativa, representin més que un percentatge definit en l'entrada d'energia al sistema del producte que s'està modelant.
c) Importància ambiental: s'inclouran les entrades que representin més que una quantitat definida addicional a la quantitat estimada de dades individuals del sistema del producte que estan especialment seleccionades per la seva importància ambiental.

1.2.2.4 Tipus i fonts de dades

Les dades seleccionades per un ACV depenen de l'objectiu i de l'abast de l'estudi. Aquestes dades es poden recopilar dels llocs de producció associats amb els processos unitaris dins dels límits del sistema o es poden obtenir o calcular d'altres fonts. A la pràctica, totes les dades poden incloure una barreja de dades mesurades, calculades o estimades.

Les dades més comuns són l'ús de matèries, les emissions a l'aire i els abocaments a l'aigua i el sòl. Les emissions i abocaments molt sovint provenen de fonts puntuals o difuses després d'haver passat per un dispositiu de control de contaminació. Aquestes dades haurien d'incloure les emissions fugitives quan siguin significatives. Els paràmetres indicadors poden incloure:

- demanda bioquímica d'oxigen (DBO),
- demanda química d'oxigen (DQO),
- compostos orgànics halogenats absorbibles (AOX),
- contingut total d'halògens, i
- compostos orgànics volàtils (COV).

A més, es poden recopilar dades que representin el soroll i les vibracions, l'ús del sòl, la radiació, l'olor i la calor residual.

1.2.2.5 Requisits de qualitat de les dades

S'han d'especificar els requisits de qualitat de les dades per poder satisfer l'objectiu i l'abast de l'ACV.

Els requisits de la qualitat de les dades haurien de tractar els següents temes:

a) temps: antiguitat de les dades i període de temps mínim en que s'haurien de recopilar les dades;
b) geografia: àrea geogràfica d'on s'haurien de recopilar les dades dels processos unitaris per satisfer l'objectiu de l'estudi;
c) tecnologia;
d) precisió;
e) integritat: percentatge del flux que s'ha mesurat o estimat;
f) representativitat: avaluació qualitativa del grau en que el conjunt de dades reflecteixen la situació real;
g) coherència;
h) reproducibilitat;
i) fonts de les dades;
j) incertesa de la informació.

S'ha de documentar el tractament de les dades que falten.

1.2.2.6 Comparacions entre sistemes

En un estudi comparatiu, s'ha d'avaluar l'equivalència dels sistemes que es comparen abans d'interpretar els resultats. Per tant, s'ha de definir l'abast de l'estudi de tal forma que es puguin comparar els sistemes. Els sistemes s'han de comparar utilitzant la mateixa unitat funcional i consideracions metodològiques equivalents com la funció, els límits del sistema, la qualitat de les dades, els procediments d'assignació, les regles de decisió sobre l'avaluació d'entrades i sortides i l'avaluació de l'impacte. S'ha d'identificar i informar de qualsevol diferència entre els sistemes pel que fa a aquests paràmetres.

1.2.2.7 Consideracions de la revisió crítica

L'abast de l'estudi ha de definir:

- si es necessària una revisió crítica i de ser així, com realitzar-la,
- el tipus de revisió crítica necessària, i
- qui farà la revisió crítica i el seu nivell d'experiència.

La revisió crítica s'explica al punt 1.4.

1.2.3 Anàlisi de l'inventari del cicle de vida (ICV)

1.2.3.1 Generalitats

La definició de l'objectiu i l'abast d'un estudi proporciona el pla inicial per realitzar la fase de l'inventari del cicle de vida d'un ACV. L'anàlisi de l'inventari implica la recopilació de les dades i els procediments de càlcul per quantificar les entrades i sortides pertinents d'un sistema del producte, i s'haurien de realitzar els passos que es descriuen a la Figura 1.3 (s'ha d'observar que alguns dels passos iteratius no es mostren a la Figura 1.3)

Cal notar que les entrades acostumen a ser de matèries primeres i d'energia, mentre que les sortides, normalment són, emissions atmosfèriques, aigües residuals, residus sòlids, coproductes, i altres aspectes ambientals com poden ser el soroll, les radiacions, les olors, etc.

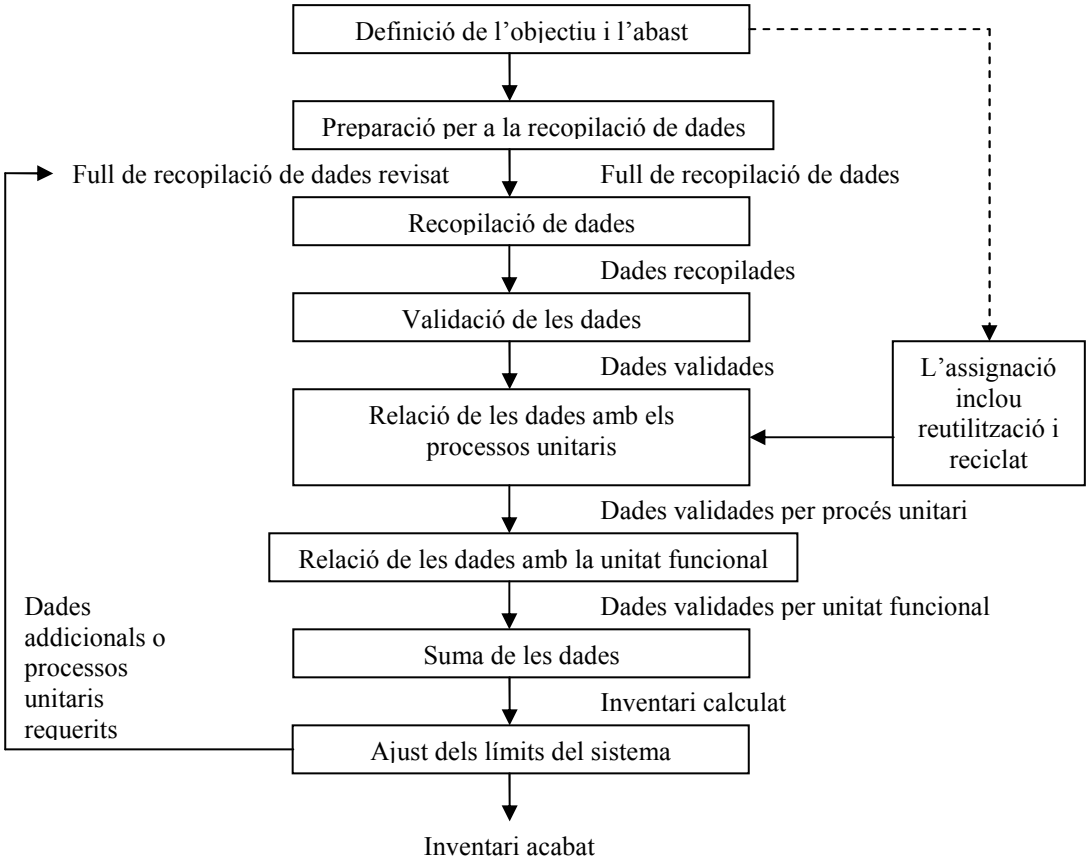

Figura 1.3 Procediments simplificats per a l'anàlisi de l'inventari. (Font: UNE-EN ISO 14044)

1.2.3.2 Recopilació de dades

Les dades qualitatives i quantitatives a incloure a l'inventari han de recollir-se per a cada procés unitari del sistema. Les dades recollides, ja siguin mesurades, calculades o estimades s'utilitzen per quantificar les entrades i sortides d'un procés unitari.

Quan les dades es recopilen de fonts públiques, s'ha de referenciar la font. Per a les dades que puguin ser importants per a l'estudi, s'han de referenciar els detalls dels processos importants de recopilació d'aquestes dades, el moment en què es van recopilar i qualsevol

altra informació sobre els indicadors de qualitat de les dades. S'ha d'aclarir si les dades no compleixen els requisits de qualitat de les dades.

Per fer un inventari d'ACV es pot utilitzar un full de càlcul, que permetrà també després a partir d'aquestes dades fer l'avaluació d'impactes, o bé utilitzar un programari específic dels que s'indiquen al punt 1.6 Programari per l'ACV, que normalment facilitarà la fase d'avaluació.

Pel que fa a les bases de dades per a ACV, les més utilitzades a nivell internacional segons la Xarxa Temàtica Catalana d'ACV (2002) són:

- BUWAL 250 i ETH-ESU 96 (Suïssa): energia, transports, i materials d'envasos i embalatges.
- IDEMAT (Holanda): energia, transports, i materials industrials.
- Ecoinvent de PRé Consultants (Holanda): dades de Suïssa.
- IVAM (Holanda): agricultura i materials de construcció.
- TEAM (França, Regne Unit, Estats Units, Itàlia, Japó): és el grup de programes que funcionen amb la base de dades d'Ecobilan, una empresa consultora multinacional. Les diferents bases de dades estan especialitzades en tractament de residus (WIZARD), productes electrònics (EIDE), general (TEAM), etc.
- Boustead (Regne Unit).
- PIRA (Regne Unit).
- Chalmers (Suècia): materials d'envasos i embalatges, energia, transports.
- GaBi (Alemanya).
- Davis i Haglund (1999).
- Audsley *et al.* (1997).
- FRANKLIN US LCI (Nord Amèrica).

S'ha d'assegurar una comprensió uniforme i coherent dels sistema del producte a modelar, i les mesures per aconseguir-ho haurien d'incloure:

- elaborar diagrames de flux de processos no específics que descriguin tots els processos unitaris a modelar, incloent les interrelacions;
- descriure amb detall cada procés unitari en el que respecta als factors que influeixen en les entrades i sortides;
- llistar els fluxes i dades pertinents per a les condicions operatives associades a cada procés unitari;
- desenvolupar una llista que especifiqui les unitats utilitzades;
- descriure les tècniques de recopilació de dades i càlcul necessàries per totes les dades;
- proporcionar instruccions per a documentar amb claredat qualsevol cas especial, irregularitats o altres temes associats amb les dades proporcionades.

Les dades per a cada procés unitari dins dels límits del sistema poden classificar-se sota grans títols com:

- entrades d'energia, de matèria primera, entrades auxiliars, altres entrades físiques,
- productes, coproductes i residus,
- emissions a l'aire, abocaments a l'aigua i al sòl, i
- altres aspectes ambientals (soroll, radiacions, olors...)

Les limitacions pràctiques en la recopilació de dades s'hauria de tenir en compte en la definició de l'abast.

Al punt 1.7 hi trobem més informació i exemples de fulls de recopilació de dades que s'han extret de l'Annex informatiu A de la norma UNE-EN ISO 14044:2006.

1.2.3.3 Càlcul de les dades

Després de la recopilació de dades venen els procediments de càlcul que inclouen les fases de validació de les dades, relació de les dades amb els processos unitaris i amb la unitat funcional i l'ajust dels límits del sistema. Aquestes fases es poden apreciar a la Figura 1.3.

Tots els procediments de càlcul s'han de documentar explícitament i s'han d'especificar i explicar clarament les suposicions realitzades. S'haurien d'aplicar els mateixos procediments de càlcul de forma coherent al llarg de tot l'estudi.

Quan es determinen els fluxos elementals associats amb la producció, s'hauria d'utilitzar sempre que sigui possible la barreja real de producció per reflectir els diferents tipus de recursos que es consumeixen. Com exemple per la producció i subministrament d'electricitat, s'hauria de tenir en compte la barreja d'electricitat, les eficiències de la combustió, les pèrdues per conversió, transmissió i distribució.

El càlcul dels fluxos d'energia haurien de tenir en compte les diferents fonts de combustible i electricitat emprades, l'eficiència de la conversió i la distribució del flux d'energia, així com les entrades i sortides associades a la generació i a la utilització d'aquest flux d'energia.

Les entrades i sortides relacionades amb el material combustible (petroli, gas, carbó...) es poden transformar en una entrada o sortida d'energia multiplicant-les pel calor de combustió corresponent. En aquest cas, s'ha d'informar si s'utilitza el valor del poder calorífic superior o inferior.

Els passos necessaris pel càlcul de les dades són els següents:

1. Validació de les dades recopilades

S'ha de verificar que les dades s'hagin validat durant el procés de recollida de dades per confirmar i proporcionar evidència de que s'han complert els requisits de la qualitat de les dades per a l'aplicació prevista.

La validació pot implicar, per exemple, realitzar balanços de matèria, balanços d'energia i/o anàlisis comparatius de factors d'emissió i abocament. Com que cada procés unitari segueix les lleis de la conservació de la matèria i l'energia, els balanços de matèria i energia proporcionen una verificació útil de la validesa de la descripció d'un procés unitari.

2. Relació de les dades amb els processos unitaris i la unitat funcional

Per cada procés unitari s'ha de determinar un flux adequat. S'han de calcular les dades quantitatives d'entrada i sortida del procés unitari amb relació a aquest flux.

Prenent com a base el diagrama de flux i els fluxos entre processos unitaris, els fluxos de tots els processos unitaris es relacionen amb el flux de referència. El càlcul ha de donar

com a resultat que totes les dades d'entrada i sortida del sistema estiguin reverenciades a la unitat funcional.

S'ha d'anar amb compte al sumar les entrades i sortides en el sistema del producte, les dades només s'haurien de sumar si estan relacionades amb substàncies equivalents i amb impactes ambientals similars.

3. Ajust dels límits del sistema

Segons la naturalesa iterativa de l'ACV, les decisions pel que fa a les dades a tenir en compte han de basar-se en els anàlisis de sensibilitat per determinar la seva importància. Un anàlisi de sensibilitat és un procediment sistemàtic per estimar els efectes de les opcions escollides sobre el resultat d'un estudi pel que fa als mètodes i les dades. Els límits inicials del sistema s'han de revisar segons correspongui d'acord als criteris d'exclusió establerts a la definició de l'abast.

1.2.3.4 Assignació de fluxos i d'emissions i abocaments

Pocs processos industrials produeixen una sortida única o estan basats en una relació lineal entre les entrades i les sortides de matèries primeres. De fet, la majoria dels processos industrials produeixen més d'un producte, i reciclen els productes intermedis o els residus de productes.

S'hauria de considerar la necessitat de procediments d'assignació per als sistemes que inclouen productes múltiples i per als sistemes de reciclat.

Les entrades i sortides han d'assignar-se als diferents productes d'acord amb procediments clarament especificats que s'han de documentar i explicar juntament amb els procediments d'assignació.

La suma de les entrades i sortides assignades a un procés unitari han de ser igual a les entrades i sortides del procés unitari abans de l'assignació.

Quan puguin aplicar-se diversos procediments alternatius d'assignació, s'hauria de realitzar un anàlisi de sensibilitat per il·lustrar les conseqüències de separar-se de l'enfocament seleccionat.

Procediment d'assignació.

L'estudi ha d'identificar els processos compartits amb altres sistemes del producte i tractar-los d'acord amb el procediment per passos que es presenta a continuació. Formalment el pas 1 no és part del procediment d'assignació.

Pas 1: Sempre que sigui possible, s'haurà d'evitar l'assignació:

1) dividint el procés unitari a assignar, en dos o més subprocessos i recollint dades d'entrada i sortida relacionades amb aquests subprocessos, o
2) ampliant el sistema del producte per incloure les funcions addicionals relacionades amb els coproductes tenint en compte els requisits del punt 1.2.2.3 sobre els límits del sistema.

Pas 2: Quan no es pugui evitar l'assignació, s'haurien de separar les entrades i sortides del sistema entre els seus diferents productes o funcions de tal forma que reflectissin les relacions físiques existents entre ells; és a dir, haurien de reflectir la forma en la que es modifiquen les entrades i sortides per canvis quantitatius en els productes o funcions procedents del sistema.

Pas 3: Quan la relació física per sí mateixa no pugui establir-se o utilitzar-se com a base de l'assignació, s'haurien d'assignar les entrades entre els productes i funcions de tal forma que reflecteixin altres relacions entre ells. Per exemple, les dades d'entrada i sortida podrien assignar-se entre coproductes proporcionalment al valor econòmic dels productes.

Algunes sortides poden ser en part coproductes i en part residus (substàncies o objectes que seran disposats). En aquests casos, és necessari identificar la proporció entre coproductes i residus ja que solament s'han d'assignar les entrades i sortides a la part corresponent als coproductes.

Els principis i procediments d'assignació dels punts 1.2.3.4 i 1.2.3.4.1 també s'apliquen a les situacions de reutilització i reciclat i es pot trobar una explicació més detallada a la norma UNE-EN ISO 14044:2006.

1.2.4 Avaluació de l'impacte ambiental del cicle de vida (AICV)

1.2.4.1 Generalitats

En aquesta fase es tracta de convertir la informació obtinguda en l'inventari en una informació interpretable: dels centenars de valors d'intervencions ambientals (emissions, recursos consumits, etc.) obtinguts en l'inventari, cal reduir el nombre de criteris als efectes sobre un nombre reduït d'impactes ambientals (Xarxa Temàtica Catalana d'ACV, 2002).

Podem dir que l'AICV associa els resultats de l'ICV a categories d'impactes ambientals segons el tipus d'efecte ambiental esperat (classificació). Una categoria d'impacte és una classe que representa les conseqüències ambientals generades pels processos o sistemes del producte. Per cada categoria d'impacte, se selecciona un indicador de categoria d'impacte de cicle de vida i es calcula el resultat de l'indicador de categoria (caracterització). Aquesta caracterització consisteix en la modelització, mitjançant els factors de caracterització, de les dades de l'inventari per cadascuna de les categories.

Els models de caracterització descriuen la relació entre els resultats de l'ICV, els indicadors de categoria i en alguns casos els punts finals de categoria. El model de caracterització s'utilitza per derivar els factors de caracterització.

La recopilació de resultats de l'indicador (resultats de l'AICV) o el perfil de l'AICV proporciona informació sobre els assumptes ambientals associats amb les entrades i sortides del sistema del producte.

Qüestions com l'elecció, el modelat i l'avaluació de categories d'impacte poden introduir subjectivitat a la fase de l'AICV. Per tant, la transparència és crítica en l'avaluació de l'impacte per tal d'assegurar que les suposicions estan clarament descrites i informades.

Actualment està en curs una iniciativa (UNEP-SETAC, 2008), a càrrec de *United Nations Environmental Program* (UNEP) i per *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), dins la qual es pretén establir un marc general de la fase d'AICV i identificar les necessitats d'investigació. Entre les publicacions de la Iniciativa del cicle de vida es troben un document word amb un llistat del mètodes disponibles per la fase de l'AICV i un document excel amb una breu descripció del mètodes per l'AICV i de les seves categories. Els mètodes que es presenten es detallen a continuació, així com l'enllaç d'internet on es poden trobar:

- Eco-indicator 99 (Goedkoop i Spriensma, 2000): http://www.pre.nl/eco-indicator99/
- EDIP 97: http://ipt.dtu.dk/~mic/EDIP97
- EDIP 2003: http://ipt.dtu.dk/~mic/EDIP2003
- EPS 2000d (*Environmental Priority Strategies in product design*) (Steen, 1999): http://eps.esa.chalmers.se/
- Handbook on LCA o CML 2 baseline method (2000) (Guinée *et al.*, 2002), que és una adaptació d'un dels primers treballs de desenvolupament de metodologia per l'ACV (Heijungs *et al.*, 1992): http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html
- Impact (2002)+: http://www.epfl.ch/impact
- JEPIX: www.jepix.org
- LIME: http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm
- Swiss Ecoscarcity: http://www.e2mc.com/BUWAL297%20english.pdf
- TRACI: http://epa.gov/ORD/NRMRL/std/sab/iam_traci.htm

El grup Pré Consultants ofereix una llista del mètodes d'avaluació de l'impacte ambiental del cicle de vida (AICV) disponibles al seu programari SimaPro per a la realització d'un ACV (Pré Consultants, 2009). El llistat és el següent:

- Eco-indicador 99 (Goedkoop i Spriensma, 2000).
- Eco-indicador 95.
- CML 92 (Heijungs *et al.*, 1992).
- CML 2 baseline method (2000) (Guinée *et al.*, 2002) que és una adaptació d'un dels primers treballs de desenvolupament de metodologia per l'ACV, CML 92 (Heijungs *et al.*, 1992).
- EDIP/UMIP (*Environmental Design of Industrial Products*, UMIP en danès) (Hauschild i Wenzel, 1998 i Wenzel *et al.*, 1997).
- EPS 2000 (Environmental Priority Strategies in product design) (Steen, 1999).
- Ecopoints 97 (BUWAL, 1998), elaborada pel Swiss Ministry of the Environment (BUWAL).
- Impact 2002+.
- TRACI.
- EPD method.
- Cumulative Energy Demand.
- IPCC Greenhouse gas emissions.

1.2.4.2 Elements de l'AICV

Els elements de la fase de l'AICV s'il·lustren a la Figura 1.4.

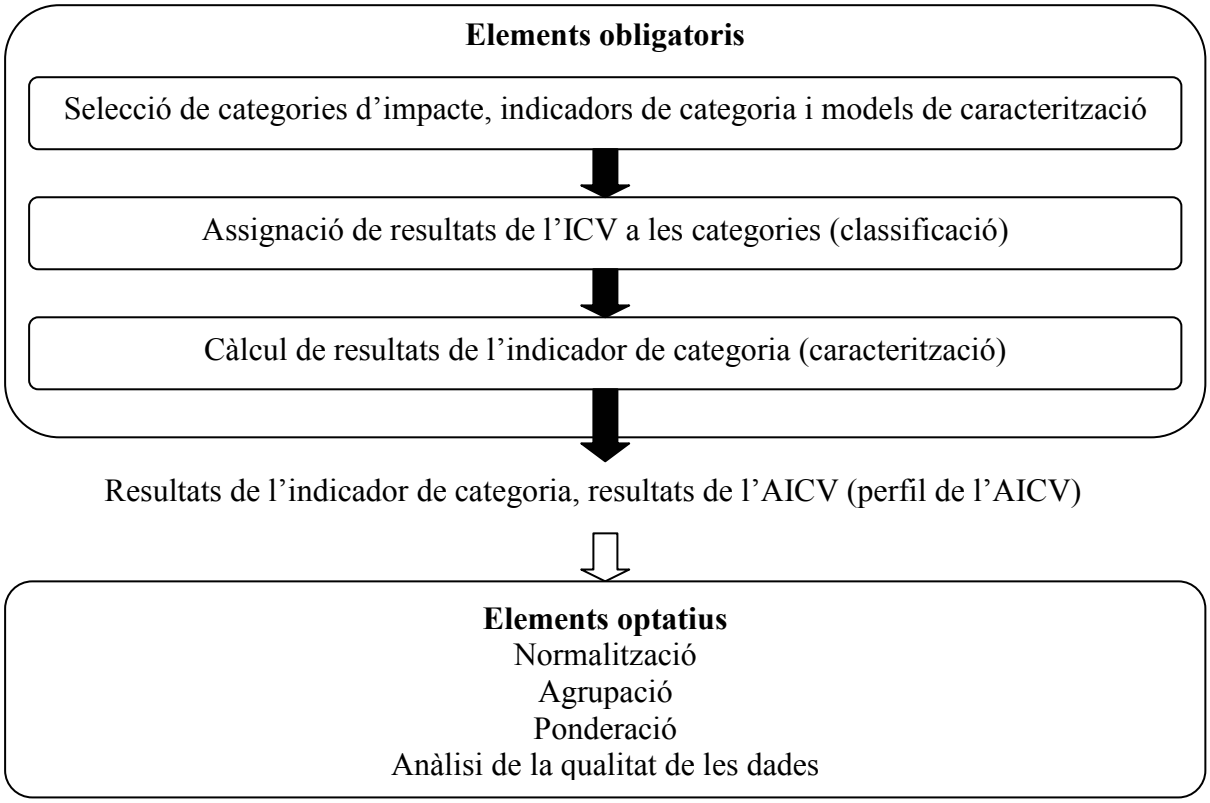

Figura 1.4 Elements de la fase AICV (Font: UNE-EN ISO 14040)

Selecció de categories, indicadors i models

Quan en un ACV se seleccionen les categories d'impacte, els indicadors de categoria i els models de caracterització, s'ha d'indicar la referència de la informació i les fonts corresponents.

S'ha de descriure el mecanisme ambiental i el model de caracterització que vincula els resultats de l'ICV amb l'indicador de categoria i proporciona la base per als factors de caracterització.

Per la majoria dels estudis d'ACV, se seleccionaran les categories d'impacte, els indicadors de categoria o els models de caracterització existents, tot i que en alguns estudis caldrà definir-ne de nous si els existents no són suficients per satisfer l'objectiu i l'abast. Algunes de les categories d'impacte més utilitzades són l'esgotament de recursos abiòtics, el canvi climàtic, la disminució de l'ozó estratosfèric, l'acidificació, l'eutrofització, la toxicitat, l'ús del sòl i d'altres com el soroll i les olors.

L'indicador de categoria es pot escollir a qualsevol punt al llarg del mecanisme ambiental entre els resultats de l'ICV i els punts finals de categoria. La Taula 1.2 proporciona exemples de termes usats en la norma internacional UNE-EN ISO 14044.

Taula 1.2 Exemple de termes (Font: UNE-EN ISO 14044).

Terme	Exemple
Categoria d'impacte	Canvi climàtic
Resultats de l'ICV	Quantitat de gasos d'efecte hivernacle per unitat funcional
Model de caracterització	Model de la línia de base de 100 anys del Panel Intergubernamental sobre Canvi Climàtic
Indicador de categoria	Radiació infraroja (W/m^2)
Factor de caracterització	Potencial d'escalfament global (GWP_{100}) per cada gas d'efecte hivernacle (kg CO_2-equivalents/kg de gas)
Resultat de l'indicador de categoria	kg CO_2-equivalents per unitat funcional
Categoria final	Esculls de coral, boscos, cultius
Importància ambiental	La radiació infraroja és una dada indirecta dels efectes potencials en el clima, depenent de l'absorció de calor atmosfèric integral causat per les emissions i la distribució en el temps de l'absorció de calor

Classificació

L'assignació dels resultats de l'ICV a les categories d'impacte haurien de considerar el següent, a menys que l'objectiu i l'abast requereixin el contrari:

a) l'assignació dels resultats de l'ICV exclusius a una categoria d'impacte;
b) la identificació dels resultats de l'ICV que es refereixin a més d'una categoria d'impacte, incloent:
    i) la distinció entre mecanismes paral·lels (per exemple el SO2 es distribueix entre les categories d'impacte de salut humana i acidificació), i
    ii) l'assignació de mecanismes en sèrie (per exemple el NOx es pot classificar per a contribuir a la formació de l'ozó troposfèric i a l'acidificació).

Caracterització

El càlcul dels resultats de l'indicador (caracterització) implica la conversió dels resultats de l'ICV a unitats comuns i la suma dels resultats convertits dins de la mateixa categoria d'impacte. Aquesta conversió utilitza els factors de caracterització. La sortida del càlcul és el resultat numèric d'un indicador.

El mètode per calcular els resultats de l'indicador han d'identificar-se i documentar-se, incloent els judicis de valor i les suposicions utilitzades.

Elements optatius

a) Normalització: Quantificació del valor dels resultats de l'indicador de categoria en relació a un valor de referència. Les escales espaials i temporals del mecanisme ambiental i del valor de referència han de ser coherents. El procediment més comú per obtenir aquest valor de referència és determinar els indicadors de categoria d'impacte per una regió durant un any i dividir aquest valor pel nombre d'habitants de la regió (Goedkoop i Oele, 2004)
b) Agrupació: Organització i possible classificació de les categories d'impacte seguint judicis de valor. Diferents persones, organitzacions i societats poden tenir diferents preferències i, per tant, obtenir diferents resultats per l'agrupació.
c) Ponderació: Establiment d'uns factors numèrics que donin una importància relativa a les diferents categories d'impacte segons uns judicis de valor per després sumar-

les, opcionalment, i obtenir un resultat ponderat en forma d'un únic índex ambiental global del sistema. Les dades prèvies a la ponderació haurien d'estar sempre disponibles. Els passos de la ponderació no tenen una base científica, per això és recomanable fer un anàlisi de sensibilitat per diferents factors de ponderació.

d) Anàlisi de la qualitat de les dades: Permetre una millor comprensió de la fiabilitat de la recopilació dels resultats de l'indicador, i del perfil de l'AICV. Les tècniques que es poden fer servir per aquest propòsit són: l'anàlisi de gravetat, l'anàlisi de la incertesa i l'anàlisi de la sensibilitat, que es troben explicades a la norma UNE-EN ISO 14044:2006.

L'aplicació i ús dels mètodes de normalització, agrupació i ponderació han de ser coherents amb l'objectiu i l'abast de l'ACV i han de ser completament transparents.

Entre els mètodes que avaluen l'impacte final destaca l'Eco-Indicador 99, ja que és el que ha fet el treball més elaborat (Antón, 2004). Aquest mètode té en compte diferents perspectives culturals a l'hora d'avaluar l'impacte.

1.2.4.3 L'AICV en estudis comparatius

Un AICV que es vol utilitzar en asseveracions comparatives previstes per a la seva divulgació al públic ha d'emprar un conjunt d'indicadors de categoria suficientment complet. La comparació ha de realitzar-se indicador de categoria a indicador de categoria. La ponderació no s'ha de fer servir en estudis d'ACV que hagin de ser usats en asseveracions comparatives per a la divulgació al públic.

1.2.4.4 Limitacions de l'AICV

L'AICV només tracta els temes ambientals especificats a l'objectiu i l'abast. Per tant, l'AICV no és una avaluació completa de tots els temes ambientals del sistema del producte sota estudi.

L'AICV no sempre pot demostrar diferències significatives entre les categories d'impacte i els resultats dels seus indicadors corresponents per a diferents alternatives dels sistemes del producte.

La manca de dimensions espacials i temporals als resultats de l'ICV introdueixen incertesa en els resultats de l'AICV.

No hi ha metodologies acceptades de forma general per associar de forma coherent i exacta les dades de l'inventari amb els impactes ambientals potencials específics. Els models de categories d'impacte es troben en diferents etapes de desenvolupament.

Una diferència important entre les diferents metodologies d'avaluació d'impactes resideix en la opció d'analitzar l'efecte últim de l'impacte ambiental "endpoint", o bé, considerar els efectes intermedis "midpoints". Les categories d'impacte ambiental intermitges es troben més properes a la intervenció ambiental, i això permet models de càlcul que s'ajusten millor a aquesta intervenció. Les categories d'impacte final són variables que afecten directament a la societat, per tant la seva elecció resultaria més rellevant i comprensible a escala global. Tot i així, la metodologia per arribar a quantificar l'efecte últim és més complexa i actualment, és més comú recórrer a categories d'impacte intermitges (Antón, 2004).

- Exemples de categories intermitges: esgotament de l'ozó, acidificació, formació de foto-oxidants, eutrofització dels sistemes aquàtics, etc.
- Exemples de categories finals: danys humans, pèrdua de la biodiversitat, pèrdua de la pesca, pèrdua de recursos, etc., que s'englobarien en quatre Àrees de protecció, salut humana, entorn natural, entorn socio-cultural i recursos naturals.

1.2.5 Interpretació del cicle de vida

1.2.5.1 Generalitats

En aquesta fase es resumeixen i discuteixen els resultats de l'ICV i de l'AICV com a base per a les conclusions, recomanacions i presa de decisions d'acord amb l'objectiu i l'abast definits.

La fase d'interpretació d'un estudi de l'ACV comprèn diversos elements, segons s'il·lustra a la Figura 1.5:

- Identificació dels assumptes significatius basats en els resultats de les fases de l'ICV i l'AICV d'un ACV;
- Una avaluació que considera les verificacions dels anàlisis d'integritat, sensibilitat i coherència;
- Conclusions, limitacions i recomanacions.

A la Figura 1.5 es mostren les relacions de la fase d'interpretació amb altres fases de l'ACV.

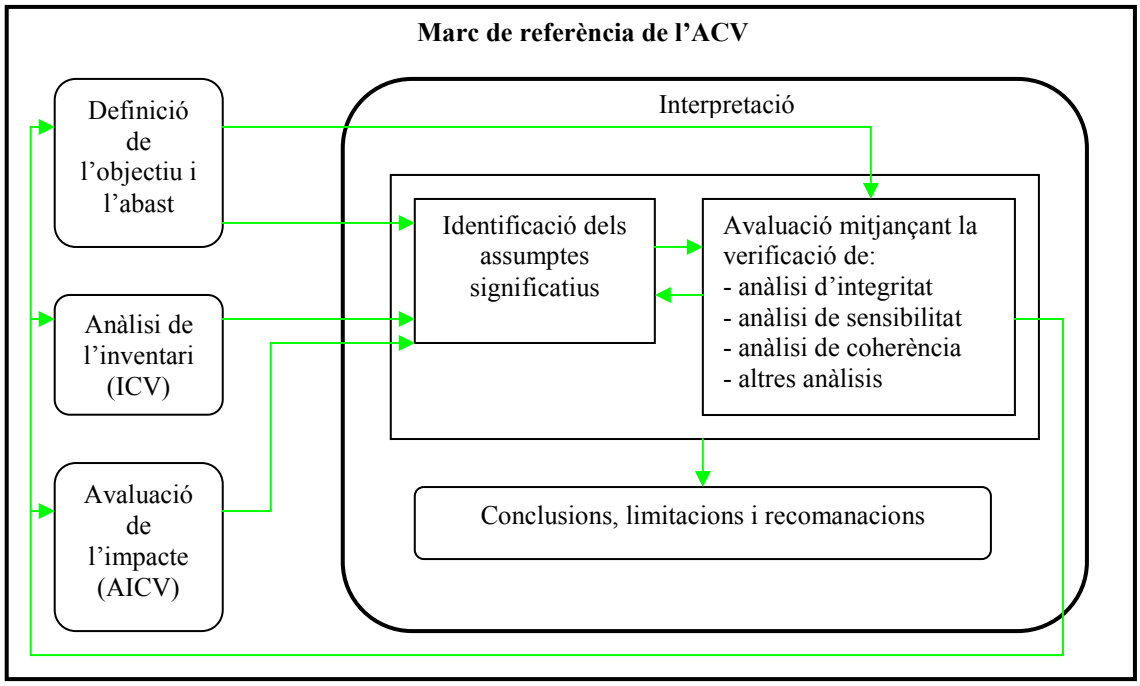

Figura 1.5 Relacions entre els elements en la fase d'interpretació amb les altres fases de l'ACV (Font: UNE-EN ISO 14044)

Les fases de definició de l'objectiu i l'abast i la d'interpretació de l'ACV constitueixen el marc de referència, mentre que els altres fases de l'ACV (ICV i AICV) generen informació sobre el sistema del producte.

La interpretació hauria de reflectir el fet que els resultats de l'AICV estan basats en un enfocament relatiu, indiquen efectes ambientals potencials, no prediuen els impactes reals en els punts finals de categoria, ni si se sobrepassen els llindars, els marges de seguretat, ni els riscs.

S'ha de tenir en compte que s'introdueixen incerteses en els resultats d'un ICV degut als efectes compostos d'incerteses d'entrades i variabilitat de dades. Un enfocament consisteix en caracteritzar la incertesa en resultats mitjançant rangs i/o distribucions probabilístiques.

La interpretació permet determinar en quina fase del cicle de vida del producte es generen les principals càrregues ambientals i per tant, quins punts del sistema avaluat poden o han de ser millorats. En els casos de comparació de diferents productes es podrà determinar quin presenta un millor comportament ambiental.

Al punt 1.8 hi ha més informació i exemples sobre la fase d'interpretació del cicle de vida que s'han extret de l'Annex informatiu B de la norma UNE-EN ISO 14044:2006.

1.2.5.2 Identificació dels assumptes significatius

L'objectiu d'aquest element és estructurar els resultats de les fases d'ICV o AICV per a ajudar a determinar els assumptes significatius d'acord amb la definició de l'objectiu i de l'abast.

Alguns exemples d'assumptes significatius serien:

- dades d'inventari com energia, emissions, abocaments, residus,
- categories d'impacte com ús de recursos, canvi climàtic, i
- contribucions significatives de les etapes del cicle de vida als resultats de l'ICV o de l'AICV com processos unitaris individuals o grups de processos com transport i producció d'energia.

1.2.5.3 Avaluació

Els objectius de l'element d'avaluació són generar i enfortir la confiança i la fiabilitat en els resultats de l'estudi de l'ACV, incloent els assumptes significatius identificats en el primer element de la interpretació. L'avaluació s'ha de realitzar d'acord amb l'objectiu i l'abast de l'estudi.

Durant l'avaluació, s'ha de considerar la utilització de les tres tècniques següents:

- Verificació de l'anàlisi d'integritat: Pretén assegurar que tota la informació i les dades pertinents necessàries per a la interpretació estan disponibles i completes.
- Verificació de l'anàlisi de sensibilitat: Pretén avaluar el grau de confiança que es pot dipositar en els resultats i les conclusions finals, determinant com estan afectats per les incerteses de les dades, mètodes d'assignació o càlcul dels resultats dels indicadors de categoria, etc. La verificació de l'anàlisi de sensibilitat ha d'incloure els resultats dels anàlisi de sensibilitat i de l'anàlisi d'incertesa, si s'han realitzat a les fases prèvies (ICV, AICV).

- Verificació de l'anàlisi de coherència: Pretén determinar si les suposicions, mètodes i dades són coherents amb l'objectiu i l'abast.

S'haurien de completar aquestes verificacions amb els resultats dels anàlisis d'incertesa i anàlisi de la qualitat de les dades.

1.2.5.4 Conclusions, limitacions i recomanacions

L'objectiu d'aquesta part de la interpretació del cicle de vida és arribar a conclusions, identificar limitacions i realitzar recomanacions per al públic previst de l'ACV.

A continuació es presenta una seqüència lògica per al procés:

a) identificar els assumptes significatius;
b) avaluar la integritat, sensibilitat i coherència de la metodologia i dels resultats;
c) treure conclusions preliminars i verificar que siguin coherents amb els requisits de l'objectiu i l'abast de l'estudi;
d) si les conclusions són coherents, comunicar-les com a conclusions finals; si no són coherents, tornar als passos previs a), b) o c) segons sigui apropiat.

Les recomanacions han de basar-se en les conclusions finals de l'estudi i han de reflectir un resultat lògic i raonable de les conseqüències de les conclusions. Les recomanacions haurien d'estar relacionades amb l'aplicació prevista.

1.3 INFORMES

Aquest apartat està tret de la norma UNE-EN ISO 14040:2006 i de la norma UNE-EN ISO 14044:2006.

1.3.1 Requisits i consideracions generals

L'estratègia d'informació és una part essencial d'un ACV. Un informe eficaç hauria de tractar les diferents fases de l'estudi en consideració.

El tipus i format de l'informe ha de definir-se a la fase de definició de l'abast de l'estudi.

Els resultats i les conclusions d'un ACV han de comunicar-se al públic previst de forma completa, exacta i sense esbiaixar. Els resultats, dades, mètodes, suposicions i limitacions han de presentar-se de forma transparent i amb suficient detall com per permetre al lector comprendre les complexitats de les compensacions d'informació inherents a l'ACV. L'informe també ha de permetre que els resultats i interpretacions s'utilitzin de forma coherent amb els objectius de l'estudi. A més, en informar sobre la fase de la interpretació, la norma UNE-EN ISO 14044 requereix una total transparència en termes de judicis de valor, justificacions, i apreciacions d'experts.

A l'informe també s'hauria de considerar la naturalesa relativa dels resultats de l'AICV i la seva incapacitat per predir impactes als punts finals de categoria. S'inclou una referència i

descripció dels judicis de valor usats a la fase de l'AICV de l'estudi en relació als models de caracterització, la normalització, la ponderació, etc.

A més dels punts citats en el paràgraf anterior i els llistats en l'apartat 1.3.2, s'haurien de considerar els següents temes quan es prepara un informe de tercera part:

a) les modificacions de l'abast inicial i la seva justificació;
b) els límits del sistema, incloent:
   - el tipus d'entrades i sortides del sistema com a fluxos elementals,
   - els criteris de decisió;
c) la descripció dels processos unitaris, incloent:
   - la decisió sobre l'assignació;
d) les dades, incloent;
   - les decisions sobre les dades,
   - els detalls sobre les dades individuals, i
   - els requisits de la qualitat de les dades i si els compleixen o no;
e) l'elecció de categories d'impacte i indicadors de categoria.
   - la relació amb els resultats de l'ICV,
   - els punts finals de categoria a justificar,
   - els models de caracterització,
   - els factors i mecanismes ambientals, i
   - el perfil de resultats de l'indicador.

Com a part de l'informe pot ser útil una presentació gràfica dels resultats de l'ICV i l'AICV però s'hauria de considerar que això porta a comparacions i conclusions implícites.

1.3.2 Requisits addicionals i orientació per als informes per una tercera part

Quan es comuniquen els resultats d'un ACV a una tercera part (és a dir, altres parts interessades diferents de qui encarrega o realitza l'estudi) sense importar la forma de comunicació, s'ha de preparar un informe per una tercera part.

L'informe per una tercera part constitueix un document de referència i ha d'estar disponible per a qualsevol tercera part a la qual se li comunica. L'informe per una tercera part ha d'incloure els següents aspectes:

a) Aspectes generals:
   1) qui encarrega i qui realitza l'ACV (intern o extern);
   2) data de l'informe;
   3) declaració de que l'estudi es va realitzar d'acord amb els requisits de les normes internacionals UNE-EN ISO 14040:2006 i UNE-EN ISO 14044:2006.
b) Objectiu de l'estudi:
   1) raons per realitzar l'estudi;
   2) les aplicacions previstes;

3) el públic objectiu;
4) la declaració de que l'estudi donarà suport a les asseveracions comparatives previstes per a la seva divulgació al públic.

c) Abast de l'estudi:

1) funció, incloent:

i) la declaració de les característiques del comportament, i
ii) qualsevol omissió de funcions addicionals a les comparacions;

2) unitat funcional, incloent:

i) coherència amb l'objectiu i l'abast,
ii) definició,
iii) resultat de la mesura del comportament;

3) límits del sistema, incloent:

i) omissions d'etapes del cicle de vida, processos o necessitats de dades,
ii) quantificació de les entrades i sortides d'energia i matèria, i
iii) suposicions sobre la producció d'electricitat;

4) criteris de tall per a la inclusió inicial d'entrades i sortides, incloent:

i) descripció del criteri de tall i suposicions,
ii) efecte de la selecció en els resultats,
iii) inclusió de criteris de tall de matèria, energia i ambientals.

d) Anàlisi de l'inventari del cicle de vida (ICV):

1) procediments de recopilació de dades;
2) descripció qualitativa i quantitativa dels processos unitaris;
3) fonts bibliogràfiques;
4) procediments de càlcul;
5) validació de les dades, incloent:

i) avaluació de la qualitat de les dades, i
ii) tractament de les dades que falten;

6) anàlisi de sensibilitat per a ajustar els límits del sistema;
7) principis i procediments d'assignació, incloent:

i) documentació i justificació dels procediments d'assignació, i
ii) aplicació uniforme dels procediments d'assignació.

e) Avaluació de l'impacte del cicle de vida (AICV), quan sigui aplicable.

1) els procediments, els càlculs i els resultats de l'estudi de l'AICV;
2) les limitacions dels resultats de l'AICV relatius a l'objectiu i l'abast definits al ACV;
3) la relació dels resultats de l'AICV amb l'objectiu i l'abast definits;
4) la relació dels resultats de l'AICV amb els resultats de l'ICV;
5) les categories d'impacte i indicadors de categoria considerats, incloent les raons per a la seva selecció i una referència de la seva font;
6) les descripcions o les referències a tots els models de caracterització, factors de caracterització i mètodes usats, incloent totes les suposicions i limitacions;

7) descripcions de o referències a tots els judicis de valor usats en relació amb les categories d'impacte, models de caracterització, factors de caracterització, normalització, agrupació, ponderació i en qualsevol altra part de l'AICV, una justificació per al seu ús i la seva influència en els resultats, conclusions i recomanacions;
8) una declaració de que els resultats de l'AICV són expressions relatives i no prediuen els impactes reals, ni determinen si se sobrepassen els llindars o els marges de seguretat, ni fan referència als riscos;

i, quan s'inclouen com a part de l'ACV, també:

i) una descripció i justificació de la definició i descripció de qualsevol categoria d'impacte, indicadors de categoria o models de caracterització nous que s'emprin a l'AICV,
ii) una declaració i justificació de qualsevol agrupació de les categories d'impacte,
iii) qualsevol altre procediment que transformi els resultats de l'indicador i una justificació de les referències seleccionades, factors de ponderació, etc.,
iv) qualsevol anàlisi dels resultats de l'indicador, per exemple anàlisi de sensibilitat i incertesa o l'ús de dades ambientals incloent qualsevol implicació per als resultats, i
v) les dades i resultats d'indicadors obtinguts prèviament a la normalització, agrupació o ponderació disponibles juntament amb els resultats normalitzats, agrupats o ponderats.

f) Interpretació del cicle de vida.

1) els resultats;
2) les suposicions i limitacions associades a la interpretació dels resultats relacionats amb la metodologia i les dades;
3) l'avaluació de la qualitat de les dades;
4) la transparència total en termes dels judicis de valor, justificacions i opinions d'experts.

g) Revisió crítica, quan sigui aplicable:

1) nombre i afiliació dels revisors;
2) informes de revisió crítica;
3) respostes a les recomanacions.

La norma UNE-EN ISO 14044:2006 inclou altres requisits de l'informe per a asseveracions comparatives previstes per a la divulgació al públic que no es detallen en aquest annex.

1.4 REVISIÓ CRÍTICA

Aquest apartat està extret de la norma UNE-EN ISO 14040:2006 i se'n pot trobar més informació a la norma UNE-EN ISO 14044:2006.

1.4.1 Generalitats

La revisió crítica és un procés per a verificar si un ACV ha complert amb els requisits de la metodologia, de dades, d'interpretació i d'informació, i si és coherent amb els principis.

En general, les revisions crítiques d'un ACV poden usar qualsevol de les opcions de revisió descrites a l'apartat 5.3. Una revisió crítica no pot verificar ni validar els objectius escollits per qui encarrega l'estudi, per un ACV, ni tampoc la forma en la que s'utilitzin els resultats de l'ACV.

1.4.2 Necessitat de revisió crítica

Una revisió crítica pot facilitar la comprensió i augmentar la credibilitat d'un ACV, per exemple involucrant a les parts interessades.

La utilització dels resultats d'un ACV per recolzar asseveracions comparatives augmenta les preocupacions i requereix una revisió crítica, ja que és probable que la seva aplicació afecti a les parts interessades externes a l'ACV. No obstant això, el fet d'haver fet la revisió crítica no hauria d'implicar en cap cas que s'aprova cap asseveració comparativa basada en un estudi d'ACV.

1.4.3 Processos de revisió crítica

1.4.3.1 Generalitats

L'abast i el tipus de revisió crítica desitjada es defineix a la fase de l'objectiu i l'abast de l'ACV. L'abast hauria d'identificar el perquè és necessari realitzar la revisió crítica, el que inclourà, el nivell de detall i qui ha d'estar involucrat en el procés.

La revisió hauria d'assegurar que la classificació, caracterització, normalització, agrupació i ponderació dels elements són suficients i estan documentats de forma que permeten realitzar la fase d'interpretació del cicle de vida de l'ACV.

S'hauria d'incloure acords de confidencialitat referits als continguts de l'ACV, segons sigui necessari.

1.4.3.2 Revisió crítica per experts interns o externs

L'expert intern o extern hauria d'estar familiaritzat amb els requisits de l'ACV i tenir l'experiència científica i tècnica apropiada.

1.4.3.3 Revisió crítica per una comissió de parts interessades

Qui encarrega l'estudi original hauria de seleccionar un expert extern independent per a presidir un grup de revisió constituït per al menys tres membres. El president hauria de seleccionar a altres revisors independents qualificats, basant-se en l'objectiu, en l'abast i en el pressupost disponible per a la revisió.

Aquest grup també pot incloure altres parts interessades afectades per les conclusions extretes de l'ACV, tals com agències governamentals, grups no governamentals, competidors i indústries afectades.

1.5 LIMITACIONS DE L'ACV

Tot i que l'ACV ja és àmpliament utilitzat per moltes empreses en la fase de desenvolupament dels seus productes, hi ha encara algunes limitacions que n'impedeixen un ús més estès. Algunes d'aquestes limitacions són, segons la Xarxa Temàtica Catalana d'ACV (2002):

- Aspectes metodològics poc desenvolupats com l'assignació de càrregues o l'ús de noves categories d'impacte ambiental (ús del sòl, toxicitat per radiacions...). En determinats productes, aquests impactes poden ser determinants, de manera que una metodologia que no els consideri és menys útil per avaluar-los. Cal afegir que les normes UNE-EN ISO no limiten les categories d'impacte, i que si en calen de noves només cal plantejar-les.
- Manca de dades (el procés d'obtenció de dades és car; a l'Estat Espanyol encara no existeix una base de dades representativa de la tecnologia actual). Sense aquestes dades, l'aplicació de l'ACV és més cara, i els resultats poden ser menys fiables.
- Poc consens internacional en algunes fases (normalització, ponderació).
- Desconeixement de l'ACV per part de professionals del procés productiu. En molts països l'ACV ja s'inclou normalment en les escoles de disseny i enginyeria, però a l'Estat espanyol el desconeixement és encara gran.

A més, tal i com es diu en la introducció, generalment l'ACV no considera els assumptes econòmics o socials d'un producte, però l'enfocament del cicle de vida i les metodologies descrites en la norma ISO es poden aplicar a aquests altres aspectes.

També cal afegir que l'ACV tracta els impactes ambientals potencials (aquells que es podrien donar si coincidissin una sèrie de circumstàncies) i no prediu impactes ambientals reals (aquells que probablement ocorreran) degut a:

- l'expressió relativa dels impactes ambientals potencials en relació a una unitat de referència,
- la integració de les dades ambientals en l'espai i en el temps (aquest punt fa que no es tingui en compte, per exemple, que unes dades regionals no serveixen per un estudi local i que una emissió gasosa pot tenir diferents efectes segons el moment del dia en el que es produeixi (Antón, 2004),
- la incertesa inherent en modelar els impactes ambientals, i
- al fet que alguns impactes ambientals possibles siguin clarament impactes futurs.

Cal recordar que no hi ha una base científica per reduir els resultats de l'ACV a un únic número o a una puntuació global, ja que la ponderació requereix judicis de valor i el resultat pot dependre del país o cultura en el que es faci l'estudi.

Pel que fa a les normes UNE-EN ISO, cal dir que estan definides amb un llenguatge bastant imprecís i això fa que sigui difícil veure si un ACV ha sigut realitzat seguint les indicacions de les normes. A més, cap desenvolupador de programes informàtics pot

afirmar que ACV elaborats amb aquesta eina compleixin automàticament les normes UNE-EN ISO (Goedkoop i Oele, 2004).

1.6 PROGRAMARI PER L'ACV

En els últims anys i basats en la metodologia de l'ACV s'han desenvolupat nombrosos programes per a facilitar el seu càlcul. La majoria d'aquests programes inclouen bases de dades que poden variar en extensió i qualitat i per tant en el preu. Les bases de dades d'inventari públics vénen incorporades a la majoria dels programes comercials.

En aquests programes s'introdueixen les dades que configuren l'inventari per posteriorment realitzar els càlculs propis de la fase de AICV, d'aquesta manera s'obtenen els resultats per a les diferents categories d'impacte escollides. Alguns d'aquests programes realitzen també anàlisis de sensibilitat i d'incertesa. La Taula 1.3 presenta algunes de les eines existents al mercat actualment.

Taula 1.3 Principals eines utilitzades en l'elaboració d'ACV (Font: Antón, 2004)

Programari	**Empresa**	**País**	**Observacions**	**Més informació**
Gabi	Stuttgart University	Germany	En contrast són les eines clàssiques de l'ACV. Aquest programa ofereix, a més, un anàlisi econòmic.	www.gabi-software.com
SimaPro	Pré-consultants	The Netherlands	Compara i analitza productes complexos descomponent-los en tots els seus materials i processos.	www.pre.nl
Boustead	Boustead Consulting	United Kingdom	Aplicació indústria química, plàstics, acer, etc.	www.boustead-consulting.co.uk
LCA Inventory Tool (LCAiT)	Chalmers Industritenik	Sweden	Balanç d'energia i materials. Aplicació principal al sector dels envasos i productes de paper.	www.ekologik.cit.chalmers.se
Euklid	Frauenhofer-Institut	Germany	Productes industrials.	www.ivv.fhg.de
KCL ECO	Finnish Pulp and Paper Research Institute	Finland	Indústria paperera.	www.kcl.fi/eco/
WISARD	Pricewaterhouse Coopers	France	Anàlisi de l'impacte econòmic i ambiental del residu sòlid municipal	www.pwcglobal.com
Umberto	Institut für Umweltinformatik	Germany	Preparació d'ACV i eco-balanços empresarials.	www.ifeu.de
TEAM (TM)	Ecobalance, Inc.	France	Molt complet, la seva base de dades inclou més de 500 mòduls de diferents sectors.	www.pwcglobal.com

1.7 EXEMPLES DE FULLS DE RECOLLIDA DE DADES

1.7.1 Generalitats

A l'Annex A (informatiu) de la norma UNE-EN ISO 14044 es troben els exemples de fulls de recopilació de dades que es presenten a continuació. Els fulls de dades d'entrada són exemples que es poden utilitzar com a directrius. El propòsit és il·lustrar la naturalesa de la informació que es pot recollir dels llocs objectiu de l'informe per un procés unitari.

Les dades i el nivell d'especificació necessiten ser coherents amb l'objectiu de l'estudi.

Els fulls d'exemple es poden modificar afegint columnes per a altres factors com la qualitat de les dades (incertesa, mesurada/calculada/estimada).

1.7.2 Exemple de full de dades per al transport per carretera

En aquest exemple (Taula 1.4), els noms i tones dels productes intermedis per als quals es requereixen les dades de transport ja estan registrats al model de sistema a estudiar. Se suposa que el mode de transport entre dos processos unitaris és el transport per carretera.

Taula 1.4 Exemple de full de dades per al transport per carretera (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex A)

Nom del producte intermedi	Transport per carretera			
	Distància (km)	Capacitat del camió (tones)	Càrrega real (tones)	Tornada buit (Sí/No)

El consum de combustible i les emissions a l'aire relacionades es calculen utilitzant un model de transport.

1.7.3 Exemple de full de dades per al transport intern

En aquest exemple (Taula 1.5), l'inventari és del transport intern en una planta. Els valors es recopilen per a un període específic i mostren els valors reals de combustible utilitzat. Les emissions a l'aire generalment es calculen utilitzant un model de consum de combustible.

Taula 1.5 Exemple de full de dades per al transport intern (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex A)

	Quantitat total d'entrades transportades	Consum total de combustible
Diesel		
Gasolina		
GLP (gas liquat de petroli)		

1.7.4 Exemple de full de dades per a processos unitaris

En aquest exemple (Taula 1.6), l'inventari és per processos unitaris.

Taula 1.6 Exemple de full de dades per a processos unitaris (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex A)

Elaborat per:		Data:		
Identificació del procés unitari:		Lloc objecte de l'informe (ubicació dins el procés unitari):		
Període de temps:(any)		Mes d'inici:	Mes de finalització:	
Descripció del procés unitari: (adjuntar, si es requereix, full addicional)				
Entrades de matèria	Unitats	Quantitat	Descripció dels procediments de mostreig	Origen
Consum d'aigua[a]	Unitats	Quantitat		
Entrades d'energia[b]	Unitats	Quantitat	Descripció dels procediments de mostreig	Origen
Sortides de materials (incloent productes)	Unitats	Quantitat	Descripció dels procediments de mostreig	Destí
NOTA: Les dades d'aquest full de recollida de dades es refereixen a totes les entrades i sortides no assignades durant el període especificat.				
[a] Per exemple, aigua superficial i aigua potable.				
[b] Per exemple, fracció de petroli pesada, fracció de petroli intermitja, fracció de petroli lleugera, kerosè, gasolina, gas natural, propà, carbó, biomassa, xarxa elèctrica.				

1.7.5 Exemple de full de recollida de dades d'anàlisi de l'inventari del cicle de vida

En aquest exemple (Taula 1.7), l'inventari és per tot el cicle de vida.

Taula 1.7 Exemple de full de recollida de dades d'anàlisi de l'inventari del cicle de vida (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex A)

Identificació de processos unitaris:			Lloc objecte de l'informe:
Emissions a l'aire [a]	Unitats	Quantitat	Descripció dels procediments de mostreig (adjuntar fulls si és necessari)
Abocaments a l'aigua [b]	Unitats	Quantitat	Descripció dels procediments de mostreig (adjuntar fulls si és necessari)
Abocaments al sòl [c]	Unitats	Quantitat	Descripció dels procediments de mostreig (adjuntar fulls si és necessari)
Altres emissions o abocaments [d]	Unitats	Quantitat	Descripció dels procediments de mostreig (adjuntar fulls si és necessari)
Descriure qualsevol càlcul, recopilació de dades, mostreig o variació de la descripció dels processos unitaris que sigui especial (adjuntar fulls addicionals si és necessari)			
[a] Per exemple inorgànics: Cl_2, CO, CO_2, pols/partícules, F_2, H_2S, H_2SO_4, HCl, HF, N_2O, NH_3, NO_x, SO_x; i orgànics: hidrocarburs, PCB, dioxines, fenols; metalls: Hg, Pb, Cr, Fe, Zn, Ni.			
[b] Per exemple: DBO, DQO, àcids, Cl_2, CN_2^-, detergents/olis, compostos orgànics dissolts, F^-, ions Fe, ions Hg, hidrocarburs, Na^+, NH_4^+, NO_3^-, organoclorats, altres metalls, altres compostos nitrogenats, fenols, fosfats, SO_4^{2-}, sòlids en suspensió.			
[c] Per exemple: residus minerals, residus industrials barrejats, residus sòlids urbans, residus tòxics (si us plau, llistar els compostos inclosos en aquesta categoria)			
[d] Per exemple: soroll, radiació, vibració, olor, calor residual.			

1.8 EXEMPLES D'INTERPRETACIÓ DEL CICLE DE VIDA

1.8.1 Generalitats

A l'Annex B (informatiu) de la norma UNE-EN ISO 14044 es troben una sèrie d'exemples dels elements dins de la fase d'interpretació d'un estudi d'ACV per ajudar a entendre com es pot processar la interpretació del cicle de vida. Aquest exemples es presenten a continuació.

1.8.2 Exemples per a la identificació dels assumptes significatius.

L'element d'identificació (apartat 1.2.5.2) es realitza de forma iterativa amb l'element d'avaluació (apartat 1.2.5.3). Consisteix en la identificació i estructuració de la informació

i la subsegüent determinació de qualsevol assumpte significatiu. L'estructuració de les dades i informació disponible és un procés iteratiu portat a terme juntament amb la fase d'ICV i, es realitza, amb la fase d'AICV, així com amb la definició de l'objectiu i l'abast.

Depenent de l'objectiu i l'abast de l'estudi, poden ser útils diferents enfocaments d'estructuració. Entre d'altres, es poden recomanar l'ús dels següents possibles enfocaments d'estructuració:

a) diferenciació *d'etapes del cicle de vida* individuals, per exemple producció de materials, fabricació del producte estudiat, utilització, reciclat i tractament de residus (Taula 1.8)
b) diferenciació entre *grups de processos;* per exemple transport, subministrament d'energia (Taula 1.9)
c) diferenciació entre processos sota diferents graus *d'influència de la direcció*; per exemple processos propis en els quals es poden controlar els canvis i millores i processos determinats per responsabilitat externa com la política nacional en matèria d'energia, les condicions específiques de subministrament (Taula 1.10)
d) diferenciació entre els processos unitaris individuals; aquesta és la major resolució possible.

La sortida d'aquest procés d'estructuració es pot presentar com una matriu bidimensional on, per exemple, el criteri de diferenciació formi les columnes i les entrades i sortides de l'inventari o els resultats d'indicadors de categoria individuals formin les files.

Les dades sobre la pertinència de dades individuals d'inventari poden estar predeterminades en la definició de l'objectiu i l'abast o poden estar disponibles a partir de l'anàlisi d'inventari o d'altres fonts com el sistema de gestió ambiental o la política ambiental de la companyia. Existeixen diferents possibles mètodes. Depenent de l'objectiu i l'abast de l'estudi i del nivell de detall necessitat, es poden recomanar l'ús dels següents mètodes:

a) *anàlisi de contribució*, en el qual s'examina la contribució de les etapes del cicle de vida (Taules 1.11 i 1.12) o de grups de processos (Taula 1.9) al resultat total, per exemple, expressant la contribució com un percentatge del total;
b) *anàlisi del predomini,* en el qual, mitjançant les eines estadístiques o altres tècniques com la classificació quantitativa o qualitativa (per exemple l'anàlisi ABC), s'analitzen les contribucions importants o significatives (Taula 1.13)
c) *anàlisi d'influència,* en el que s'examina la possibilitat d'influir en els assumptes ambientals (Taula 1.10)
d) *avaluació de les anomalies,* a la qual, s'observen amb base a experiències prèvies, desviacions inesperades o inusuals de resultats esperats o normals. Això permet una verificació posterior i serveix de guia per a l'avaluació de la millora (Taula 1.14)

El resultat d'aquest procés de determinació també es pot presentar com a matriu, a la qual, els criteris de diferenciació anteriorment esmentats formen les columnes, i les entrades i sortides d'inventari o els resultats de l'indicador de categoria formen les files.

A les Taules 1.8 a 1.15, es donen exemples de com es pot realitzar un procés d'estructuració. Els mètodes d'estructuració proposats són adequats tant per als resultats de l'ICV com per als possibles resultats de l'AICV.

Taula 1.8 Estructuració de les entrades i sortides d'un ICV segons les etapes del cicle de vida (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Entrada/sortida de l'ICV	Producció de materials (kg)	Processos de fabricació (kg)	Utilització (kg)	Altres (kg)	Total (kg)
Carbó					
CO_2					
NO_x					
Fosfats	2,5	25	0,5	-	28
AOX[a]					
Residu municipal					
Residus industrials					
[a] AOX =halurs orgànics absorbibles					

Taula 1.9 Matriu d'estructuració organitzada per grups de processos (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Entrada/sortida de l'ICV	Subministrament d'energia (kg)	Transport (kg)	Altres (kg)	Total (kg)
Carbó				
CO_2				
NO_x				
Fosfats	5	10	13	28
AOX[a]				
Residu municipal				
Residu industrial				

Taula 1.10 Ranking del grau d'influència en les entrades i sortides de l'ICV distribuïdes en grups de processos unitaris (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Entrada/sortida de l'ICV	Xarxa de subministrament d'energia	Subministrament d'energia al lloc	Transport	Altres	Total (kg)
Carbó					
CO_2					
NO_x					
Fosfats	C	B	C	A	28
AOX[a]					
Residu municipal					
Residu industrial					

El grau d'influència a la Taula 1.10 s'indica mitjançant les següents lletres:

A: control significatiu, grans millores possibles,

B: control escàs, algunes millores possibles,

C: sense control

Taula 1.11 Percentatge de contribució de les entrades i sortides de l'ICV segons les etapes del cicle de vida (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Entrada/sortida de l'ICV	Producció de materials (%)	Processos de fabricació (%)	Utilització (%)	Altres (%)	Total (%)
Carbó					100
CO_2					100
NO_x					100
Fosfats	8,9	89,3	1,8	-	100
AOX[a]					100
Residu municipal					100
Residus industrials					100

Els percentatges de la Taula 1.11 venen de la Taula 1.8.

Taula 1.12 Estructuració del resultat d'un indicador de categoria (PCG_{100}) segons les etapes del cicle de vida, expressat en % (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

PCG_{100} de	Extracció de materials (%)	Processos de fabricació (%)	Utilització (%)	Altres (%)	PCG Total (%)
CO_2					31,9
CO					3,4
CH_4					12,3
N_2O	17,4	1,2	1,8	0,6	21
CF_4					25
Altres					6,4
Total	56,7	10,4	27	5,9	100

Els percentatges de la Taula 1.12 s'extreuen de la Taula 1.15.

Taula 1.13 Ranking de les entrades i sortides de l'ICV segons les etapes del cicle de vida (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Entrada/sortida de l'ICV	Producció de materials	Processos de fabricació	Utilització	Altres	Total (kg)
Carbó					
CO_2					
NO_x					
Fosfats	D	A	E	-	28
AOX[a]					
Residu municipal					
Residus industrials					

La Taula 1.13 mostra els resultats de l'anàlisi del predomini de la Taula 1.11 segons els següents criteris:

A: el més important, influència significativa, és a dir, contribució > 50%

B: molt important, influència rellevant, és a dir, 25% < contribució < 50%

C: bastant important, alguna influència, és a dir, 10% < contribució < 25%

D: poca importància, influència menor, és a dir, 2.5% < contribució < 10%

E: no important, influència despreciable, és a dir, contribució < 2.5%

Taula 1.14 Identificació d'anomalies i resultats inesperats de les entrades i sortides de grups de processos de l'ICV (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Entrada/sortida de l'ICV	Xarxa de subministrament d'energia	Subministrament d'energia al lloc	Transport	Altres	Total (kg)
Carbó					
CO_2					
NO_x					
Fosfats	○	○	#	○	28
AOX[a]					
Residu municipal	○	●	○	●	172
Residus industrials					

La Taula 1.14 mostra un exemple dels resultats de l'ICV, avaluats segons les anomalies i resultats inesperats i estructurats en grups de processos unitaris, representant grups de processos de diferents entrades i sortides de l'ICV. Les anomalies i resultats inesperats es marquen mitjançant els següents símbols:

●: resultat inesperat, és a dir, contribució massa alta o massa baixa

#: anomalia, és a dir, certes emissions on se suposa que no n'hi ha, i

○: sense comentaris.

Les anomalies poden representar errors als càlculs o en la transferència de dades. Per tant, haurien de considerar-se amb molta cura. Es recomana verificar els resultats de l'ICV o de l'AICV abans d'elaborar les conclusions. També s'haurien de tornar a examinar i verificar els resultats inesperats.

L'exemple de la Taula 1.15 demostra un procés possible d'estructuració sobre la base dels resultats de l'AICV. Mostra un resultat de l'indicador de categoria, el potencial d'escalfament global (PCG_{100}), estructurat per grups de processos unitaris.

L'anàlisi de les contribucions de les substàncies específiques al resultat de l'indicador de categoria de la Taula 1.15 identifica els processos o etapes del cicle de vida amb les majors contribucions, el resultat d'aquest anàlisi es pot veure a la Taula 1.12.

En resum, els elements d'identificació pretenen proporcionar un enfocament estructurat per a la posterior avaluació de les dades, informació i troballes de l'estudi. Els temes que, entre altres, es recomana considerar són:

- dades d'inventari individuals: emissions, recursos energètics i materials, residus, etc.
- processos individuals, processos unitaris o grups de processos unitaris,
- etapes individuals del cicle de vida, i
- indicadors de categoria individuals

Taula 1.15 Estructuració del resultat d'un indicador de categoria (PCG100) segons les etapes del cicle de vida (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Potencial d'escalfament global (PCG_{100})	Producció de materials (kg CO_2-equiv)	Processos de fabricació (kg CO_2-equiv)	Utilització (kg CO2-equiv)	Altres (kg CO_2-equiv)	PCG Total (kg CO_2-equiv)
CO_2					2750
CO					300
CH_4					1050
N_2O	1500	100	150	50	1800
CF_4					2150
Altres					550
Total	4875	900	2320	505	8600

1.8.3 Exemples d'elements d'avaluació

L' element d'avaluació i l'element d'identificació són procediments que es realitzen de forma simultània. Mitjançant un procediment iteratiu, es discuteixen diversos temes i tasques més detalladament per determinar la fiabilitat i l'estabilitat dels resultats de l'element d'identificació.

- Verificació de l'anàlisi d'integritat

La verificació de l'anàlisi d'integritat busca assegurar que s'ha utilitzat la informació i dades requerides de totes les fases i que estiguin disponibles per a la interpretació. A més, s'identifiquen buits de dades i s'avalua la necessitat de completar l'adquisició de dades. L'element d'identificació és una base important per a aquestes consideracions. La Taula 9.3.1 mostra un exemple de la verificació de l'anàlisi d'integritat per a un estudi de comparació entre dues opcions A i B. No obstant això, la integritat només pot ser un valor empíric, assegurant que no s'ha oblidat cap aspecte important conegut.

Taula 1.16 Resum d'una verificació de l'anàlisi d'integritat (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Procés unitari	Opció A	Complet?	Acció requerida	Opció B	Complet?	Acció requerida
Producció de materials	X	Sí		X	Sí	
Subministrament d'energia	X	Sí		X	No	Calcular novament
Transport	X	?	Verificar l'inventari	X	SÍ	
Processament	X	No	Verificar l'inventari	X	Sí	
Embalatge	X	Sí		/	No	Comparar amb A
Utilització	X	?	Comparar amb B	X	Sí	
Final de la vida útil	X	?	Comparar amb B	X	?	Comparar amb A
X : entrada de dades disponible						
/ : no hi ha entrada de dades						

Els resultats de la Taula 1.16 mostren que és necessari realitzar diverses tasques. En el cas de tornar a calcular o verificar novament l'inventari original, es requereix un cicle de retroalimentació.

- Verificació de l'anàlisi de sensibilitat

L'anàlisi de sensibilitat (verificació de l'anàlisi de sensibilitat) intenta determinar la influència de les variacions en les suposicions, mètodes i dades en els resultats. Principalment es verifica la sensibilitat dels assumptes identificats més significatius. El procediment d'anàlisi de sensibilitat és una comparació dels resultats obtinguts utilitzant certes suposicions, mètodes o dades amb els resultats obtinguts utilitzant suposicions, mètodes o dades modificades.

En un anàlisi de sensibilitat, generalment es verifica la influència sobre els resultats de la variació de les suposicions i dades en un cert interval (per exemple ± 25%). Aleshores es comparen ambdós resultats. La sensibilitat es pot expressar com el percentatge del canvi o com una desviació absoluta dels resultats. Sobre una base es poden identificar variacions significatives en els resultats (per exemple major al 10%)

A més, un anàlisi de sensibilitat pot ser requerit en la definició de l'objectiu i l'abast o es pot determinar durant l'estudi en base a l'experiència o suposicions. Els anàlisis de sensibilitat poden considerar-se valuosos per als següent exemples de suposicions, mètodes i dades:

- regles d'assignació;
- criteris d'exclusió;
- establiment de límits i definició del sistema;
- judicis i suposicions sobre les dades;
- selecció de les categories d'impacte;
- assignació de resultats d'inventari (classificació);
- càlcul de resultats d'indicadors de categoria (caracterització);
- dades normalitzades;
- dades ponderades;
- mètodes de ponderació;
- qualitat de les dades.

Les Taules 1.17, 1.18 i 1.19 mostren com es pot realitzar l'anàlisi de sensibilitat en base als resultats de l'anàlisi de sensibilitat existent de l'ICV i l'AICV.

Taula 1.17 Verificació de l'anàlisi de sensibilitat de la regla d'assignació (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Demanda de carbó mineral	Opció A	Opció B	Diferència
Assignació per massa, MJ	1200	800	400
Assignació per valor econòmic, MJ	900	900	0
Desviació, MJ	-300	+100	400
Desviació, %	-25	+12,5	Significatiu
Sensibilitat, %	25	12,5	

Les conclusions que es poden extreure de la Taula 1.17 són que l'assignació té una influència significativa i que sota aquestes circumstàncies no existeix diferència real entre les opcions A i B.

Taula 1.18 Verificació de l'anàlisi de sensibilitat de la incertesa de les dades (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Demanda de carbó mineral	Producció de material	Procés de fabricació	Utilització	Total
Cas base, MJ	200	250	350	800
Alteració suposada, MJ	200	150	350	700
Desviació, MJ	0	-100	0	-100
Desviació, %	0	-40		-12,5
Sensibilitat, %	0	40	0	12,5

Les conclusions que es poden extreure de la Taula 1.18 són que ocorren canvis significatius i que les variacions modifiquen el resultat. Si la incertesa té una influència significativa, el més indicat és renovar la col·lecció de dades.

Taula 1.19 Verificació de l'anàlisi de sensibilitat de les característiques de les dades (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Entrada de dades de PCG/efecte	Opció A	Opció B	Diferència
Resultat per a PCG = 100 CO_2 - equiv	2800	3200	400
Resultat per a PCG = 500 CO_2 - equiv	3600	3400	-200
Desviació	+800	+200	600
Desviació, %	+28,6	+6,25	Significatiu
Sensibilitat, %	28,6	6,25	

Les conclusions que es poden extreure de la Taula 1.19 són que ocorren canvis significatius, que la modificació de suposicions poden modificar o fins i tot invertir les conclusions i que la diferència entre les opcions A i B és menor del que s'esperava originalment.

- Verificació de l'anàlisi de coherència

La verificació de l'anàlisi de coherència busca determinar si les suposicions, mètodes i dades són coherents al llarg del cicle de vida d'un producte o entre diferents opcions. Les incoherències són, per exemple:

a) diferències en les *fonts de les dades*; per exemple la opció A es basa en bibliografia mentre que la opció B es basa en dades primàries;
b) diferències en l'exactitud de les dades; per exemple per a l'opció A hi ha disponible un arbre de procés i una descripció de procés detallats mentre que la opció B es descriu com un sistema de caixa negra;
c) diferències de *cobertura tecnològica*; per exemple les dades per a l'opció A es basen en processos experimentals, mentre que les dades per a l'opció B es basen en tecnologies existents de gran escala;
d) diferències en la *cobertura en relació amb el temps*; per exemple les dades per a l'opció A descriuen una tecnologia recentment desenvolupada mentre que l'opció B es descriu com una barreja tecnològica incloent les plantes recentment construïdes i les velles;

e) diferències en *l'antiguitat de les dades*; per exemple les dades per a l'opció A són dades primàries de 5 anys mentre que les dades per a l'opció B van ser recentment recollides;
f) diferències en la *cobertura geogràfica*; per exemple les dades per a l'opció A descriuen una barreja representativa de tecnologia europea mentre que l'opció B descriu un país membre de la Unió Europea amb una política de protecció ambiental d'alt nivell o una planta única.

Algunes d'aquestes incoherències poden alinear-se amb la definició de l'objectiu i l'abast. Als altres casos, existeixen diferències significatives i és necessari considerar la seva validesa i influència abans d'arribar a conclusions i realitzar recomanacions.

La Taula 1.20 proporciona un exemple dels resultats d'una verificació de l'anàlisi de coherència per a un estudi d'ICV.

Taula 1.20 Resultat d'una verificació de l'anàlisi de coherència (Font: UNE-EN ISO 14044:2006, Annex B)

Verificació	Opció A		Opció B		Comparació d'A i B	Acció
Font de dades	Bibliografia	OK	Primari	OK	Coherent	Cap acció
Exactitud de les dades	Bona	OK	Dèbil	No es compleix amb objectiu i abast	No és coherent	Tornar a veure B
Antiguitat de les dades	2 anys	OK	3 anys	OK	Coherent	Cap acció
Cobertura tecnològica	Estat de l'art	OK	Planta pilot	OK	No és coherent	Estudi objectiu = sense acció
Cobertura relacionada amb el temps	Recent	OK	Real	OK	Coherent	Cap acció
Cobertura geogràfica	Europa	OK	EUA	OK	Coherent	Cap acció

1.9 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

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

Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S. i Crettaz, P. (1997), *Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Final Report.* Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission. DG VI Agriculture.

BUWAL (1998), *Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der Ökologischen Knappheit. Ökofaktorenn 1997.* Schriftenreihe Umwelt. nº 297, Bern.

Goedkoop, M. i Spriensma, R. (2000), *The Eco-indicator 99 – A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology report*. PRé Consultatns B.V., Amersfoort.

Goedkoop, M. i Oele, M. (2004), *SimaPro 6 – Introducción a LCA con SimaPro.* PRé Consultants.

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. i Huijbregts, M.A.J. (2002), *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO standards.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Hauschild, M. i Wenzel, H. (1998), *Environmental Assessment of products, Volume 2: Scientific backgroun).* Chapman and Hall, London.

Heijungs, R., Guinée, J.B., Huppes, G., Lankreijer, R.M., Udo de Haes, H.A., Wegener Sleeswijk, A., Ansems, A.M.M., Eggels, P.G., van Duin, R. i Goede, H.P. de (1992), *Environmental life cycle assessment of products: guide and backgrounds (part I and II).* Centre of Environmental Science Leiden University (CML).

Pré Consultants. (2009), *Impact assessment methods.* [http://www.pre.nl/simapro/impact_assessment_methods.htm] Data de consulta: gener de 2009.

Steen, B. (1999). *A systematic approach to environmental strategies in product development (EPS). Version 2000.* CPM report. Cente for Environmental Assessment of products and material systems, Chalmers University of technology.

UNE-EN ISO 14040. Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida y Principios y marco de referencia. Comité técnico AEN/CTN 150 Gestión Medioambiental. (2006a), AENOR, Madrid.

UNE-EN ISO 14044. Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida y Requisitos y directrices. Comité técnico AEN/CTN 150 Gestión Medioambiental. (2006b), AENOR, Madrid.

UNEP-SETAC. (2008), *Life Cycle Initiative. United Nations Environmental Programme.* Sustainable Consumption Programme. Paris. [http://jp1.estis.net/sites/lcinit/default.asp?site=lcinit&page_id=15CFD910-956F-457D-BD0D-3EF35AB93D60] Data de consulta: novembre de 2008

Wenzel, H., Hauschild, M. i Alting, L. (1997), *Environmental Assessment of Products. Volume 1 (methodology, tools and case studies in product development).* Chapman & Hall, London, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA.

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. Disponible a: [http://mediambient.gencat.net/cat/empreses/ipp/llibre_acv.pdf]

2 ANNEX 2. DADES DE L'EDAR DEL BAIX LLOBREGAT

Taula 2.1 Dades anuals (2008) de la línia de l'aigua de l'EDAR del Baix Llobregat facilitades per la pròpia EDAR. 3

Taula 2.2 Cabals mensuals reutilitzats a l'EDAR del Baix Llobregat (2008) facilitats per la pròpia EDAR. 4

Taula 2.3 Dades anuals (2008) de la línia de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat facilitades per la pròpia EDAR. 4

Taula 2.4 Full de qüestions sobre el funcionament de la línia de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat, contestat per la mateixa EDAR al 2008. 7

Taula 2.5 Composició del biogàs de l'EDAR del Baix Llobregat (2008). Dades facilitades per la pròpia EDAR. 8

Taula 2.6 Característiques energètiques per al resum anual sobre cogeneració (Annex IV, RD 436/2004) de l'EDAR del Baix Llobregat (2008). Dades facilitades per la pròpia EDAR. 8

Taula 2.7 Dades anuals (2008) pels edificis de control de l'EDAR del Baix Llobregat facilitades per la pròpia EDAR. 9

Taula 2.8 Característiques del fang de l'EDAR del Baix Llobregat (2008). Dades facilitades per la pròpia EDAR. 10

Taula 2.9 Control màssic de l'EDAR del Baix Llobregat (2008). Dades facilitades per la pròpia EDAR. 11

Taula 2.1 Dades anuals (2008) de la línia de l'aigua de l'EDAR del Baix Llobregat facilitades per la pròpia EDAR.

FULL DE RECOPILACIÓ DE DADES		
LÍNIA DE L'AIGUA		
Concepte	**Valor**	**Unitats**
CABALS		
AIGUA		
Cabal d'aigua d'entrada a la EDAR	97.541.429	m^3/any
Cabal d'aigua de sortida de la EDAR [(1) (a)]	68.945.067	m^3/any
RESIDUS		
Gruixuts + Fins i destinació (Abocador)	2204	t/any
Sorres i destinació (Abocador)	895	t/any
Greixos i destinació	0	t/any
REACTIUS		
Coagulant PAX pel físico-químic del terciari	2200	t/any
Sorra pel físico-químic del terciari (nova)	285	t/any
Sorra pel físico-químic del terciari (recirculada)	sense dades	
Floculant aniònic pel físico-químic del terciari	51	t/any
Hipoclorit sòdic per la desinfecció del terciari	1350	t/any
SUPERFÍCIE OCUPADA:		
CONSUM ENERGÈTIC		
Global de l'EDAR (l. aigua amb terciari i l. fang) [(b)]	**54.485.963**	**kWh/any**
Global de l'EDAR (l. aigua amb terciari i l. fang) que prové de la cogeneració [(2)]	26.002.942	kWh/any
Global de l'EDAR (l. aigua amb terciari i l. fang) de compra	28.517.511	kWh/any
Global de tota la línia de l'aigua (inclou aireig del reactor biològic)	**29.497.576,903**	**kWh/any**
Per l'aireig del reactor biològic	14.011.331	kWh/any
Percentatge que prové de la cogeneració (aprox) [(c)]	50	%
ALTRES		
Soroll	----------	
Olor	----------	

Comentaris que fa l'EDAR del Baix Llobregat sobre les dades que facilita:

[(1)] No hi ha cabalímetre a la sortida de l'EDAR, per tant, aquest valor s'obté de la diferència entre el cabal d'entrada i el cabal destinat al tractament terciari.

[(2)] A la planta es produeix aproximadament el 50% de l'energia que es consumeix a l'EDAR. Tota l'energia generada es consumeix a la planta.

Aclariments:

[(a)] Degut a una correcció del cabal total reutilitzat, el cabal d'aigua de sortida de l'EDAR queda modificat a 68.906.223 m3/any.

[(b)] La suma del consum energètic global de l'EDAR que prové de al cogeneració i el de compra és de 54.520.453 kWh/any, per tant, és lleugerament superior al consum energètic global de l'EDAR mesurat (54.485.963 kWh/any). Es considerarà que el consum energètic global de l'EDAR és de 54.520.453 kWh/any.

[(c)] El percentatge que prové de la cogeneració es pot calcular amb el consum global de l'EDAR i la quantitat d'energia que prové de la cogeneració, i és del 48% (Aquest percentatge és el que es farà servir per la resta dels processos). A l'hora de fer els càlculs es tindran en compte els decimals del percentatge calculat.

Taula 2.2 Cabals mensuals reutilitzats a l'EDAR del Baix Llobregat (2008) facilitats per la pròpia EDAR.

MES	CABAL REUTILITZAT (m^3/mes)					
	TOTAL [a]	Riu	Z. humides	Reg	Camions cuba	A Osmosis
Gener	3.250.498	2.858.614	338.627	0	0	53.257
Febrer	2.649.436	2.240.124	345.429	0	0	63.883
Març	3.014.860	1.734.344	308.413	925.753	0	46.350
Abril	3.029.295	1.751.639	213.794	1.044.191	0	19.671
Maig	2.484.443	1.713.530	352.914	417.041	958	0
Juny	240.027	0	239.383	0	644	0
Juliol	1.067.405	718.305	330.343	0	636	18.121
Agost	3.068.625	2.633.830	370.762	0	600	63.433
Setembre	2.510.375	2.287.819	167.530	0	555	54.471
Octubre	2.420.736	2.229.442	138.738	0	216	52.340
Novembre	2.537.909	2.420.120	54.289	0	72	63.428
Desembre	2.322.753	2.212.010	110.743	0	0	38.844
TOTAL	**28.596.362**	**22.799.777**	**2.970.965**	**2.386.985**	**3.681**	**473.798**

[a] El cabal total reutilitzat del mes de desembre (2.322.753 m^3/mes) no coincideix amb la suma de les 5 reutilitzacions del mes de desembre (2.361.597 m^3/mes). La diferència és el cabal que va a osmosis al mes de desembre, per tant, es considerarà que el cabal total reutilitzat del mes de desembre és de 2.361.597 m^3/mes. Per tant, el cabal total reutilitzat anual serà de 28635206 m^3/any.

Taula 2.3 Dades anuals (2008) de la línia de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat facilitades per la pròpia EDAR.

FULL DE RECOPILACIÓ DE DADES			
LÍNIA DE FANGS			
Concepte	**Valor**		**Unitats**
CABALS			
FANG	**Entrada**	**Sortida**	**Unitats**
Espessidor fang primari (gravetat) [1]	Taula 2.9	Taula 2.9	
Espessidor fang secundari (centrífuga) [a]	Taula 2.9	1.894.515	m^3/any
Digestor		469.489	m^3/any
Deshidratació (centrífuga) [2]		61.117	m^3/any
Assecatge tèrmic		13.121	t/any
RECIRCULACIONS D'AIGUA	**Quantitat**	**Destí**	**Unitats**
Espessidor fang primari (gravetat)	Sense dades[3]	Entrada EDAR	
Espessidor fang secundari (centrífuga)	Sense dades[3]	Entrada EDAR	
Digestor (intercanviador de calor)	Sense dades[3]	Entrada EDAR	
Deshidratació (centrífuga)	Sense dades[3]	Entrada EDAR	
Assecatge tèrmic	Sense dades[3]	Entrada EDAR	
TEMPS DE RESIDÈNCIA			
Espessidor fang primari (gravetat)	variable , al voltant de 24 h		hores
Espessidor fang secundari (centrífuga)	2,3		m^3/min
Digestor	23 - 28		dies
Deshidratació (centrífuga)	0,5		m^3/min
Assecatge tèrmic	0,075		m^3/min

TEMPERATURA			
Espessidor fang primari (gravetat)	ambient		
Espessidor fang secundari (centrífuga)	ambient		
Digestor	35 - 39		º C
Deshidratació (centrífuga)	ambient		
Assecatge tèrmic	Max.150		º C
Calderes	270		º C
Motors de cogeneració	Gasos entre 450 i 550		º C
SUPERFÍCIE OCUPADA:			
REACTIUS			
Polielectrolit per centrífugues de deshidratació	115		t/any
Oli de les calderes	80		m^3/any
PRODUCCIÓ DE BIOGÀS			
Producció de biogàs	6.274.320,95		Nm^3/any
Biogàs comprimit	100%		
Composició del biogàs (en % o com sigui)			
CO_2	Taula 2.5		
CH_4	Taula 2.5		
Altres (traces):	Taula 2.5		
CONSUMS			
ENERGIA ELÈCTRICA	**Total**	**Recuperat de la planta (aprox) [e]**	**Unitats**
Global de l'EDAR (l. aigua amb terciari i l. fang) [b]	**54.485.963**	**50%**	**kWh/any**
Global de l'EDAR (l. aigua amb terciari i l. fang) que prové de la cogeneració [4]	26.002.942	-	kWh/any
Global de l'EDAR (l. aigua amb terciari i l. fang) de compra	28.517.511	-	kWh/any
Global de tota la línia de fangs [c]	**24.988.386**	**50%**	**kWh/any**
Espessiment + deshidratació [5]	5.279.892	50%	kWh/any
Digestor (inclou agitació)	2.968.311	50%	kWh/any
Assecatge tèrmic	3.709.759	50%	kWh/any
Bombes (per separat si n'hi ha més d'una) [6]	Sense dades[3]	50%	
Calderes [7]	Sense dades[3]	50%	
Compressors del biogàs [d]	3.769.768	50%	kWh/any
Motors de cogeneració [8]	780.000	50%	
GAS NATURAL	**Total**		**Unitats**
Calderes	0		Nm^3/any
Motor de cogeneració	5.264.345		Nm^3/any
BIOGÀS COMPRIMIT	**Total**		**Unitats**
Calderes	4.646.000		Nm^3/any
Agitació interna del digestor [f]	Sense dades[3]		

Motor de cogeneració	1.628.000	Nm^3/any
PRODUCCIÓ D'ENERGIA I APROFITAMENTS ENERGÈTICS		
Energia elèctrica produïda pel motor de cogeneració	26.002.942	kWh/any
Aprofitament de la calor dels gasos d'escapament (~100 ºC) de la culata del motor de cogeneració per escalfar el fang a digestió (intercanviador de calor)	Taula 2.6	
Pèrdues energètiques o rendiment del motor de cogeneració.	Taula 2.6	
ALTRES		
Soroll		
Olor		

Comentaris que fa l'EDAR del Baix Llobregat sobre les dades que facilita:

(1) No hi ha cabalímetre per mesurar el fang primari que surt de la línia d'aigües, per tant, se'n desconeix el volum.

(2) Part del fang deshidratat surt fora de la planta i no s'asseca tèrmicament.

(3) Quan es diu "Sense dades" vol dir que el valor és diferent de zero, però que no hi ha comptador que en mesuri la magnitud.

(4) A la planta es produeix aproximadament el 50% de l'energia que es consumeix a l'EDAR. Tota l'energia generada es consumeix a la planta.

(5) No hi ha comptadors separats , però el gran consumidor és la centrífuga, es podria dir que 90% davant del 10% per espessiment per gravetat.

(6) Tota la planta està plena de bombes de diferents potències ,capacitats i funcions, des de la bomba de refrigeració d'aigua fins a les bombes de transport de fang deshidratat , no és possible estimar el % que representen davant del total.

(7) L'autoconsum de les calderes no es pot estimar.

(8) L'autoconsum elèctric dels motors de cogeneració es pot estimar en 780.000 kWh /any.

Aclariments:

(a) No té sentit que surti més fang de l'espessidor secundari que del digestor, per tant, s'entendrà que aquesta dada (1.894.515 m^3/any) és incorrecta. S'ha de calcular el seu valor.

(b) La suma del consum energètic global de l'EDAR que prové de la cogeneració i el de compra és de 54.520.453 kWh/any, per tant, és lleugerament superior al consum energètic global de l'EDAR mesurat (54.485.963 kWh/any). Es considerarà que el consum energètic global de l'EDAR és de 54.520.453 kWh/any.

(c) La suma dels consums energètics dels diferents processos dels que es tenen dades és 16.507.730 kWh/any. La diferència amb el consum global de la línia de fang podria ser el consum dels processos dels que no disposem de dades.

(d) Aquest consum d'energia se li assignarà als gasòmetres.

(e) El percentatge que prové de la cogeneració es pot calcular amb el consum global de l'EDAR i la quantitat d'energia que prové de la cogeneració, i és del 48% (Aquest percentatge és el que es farà servir per la resta dels processos). A l'hora de fer els càlculs es tindran en compte els decimals del percentatge calculat.

(f) La diferència entre el biogàs produït i el que es consumeix a les calderes i al motor de cogeneració, podria ser una aproximació del biogàs que es consumeix per a l'agitació interna del digestor (320,95 Nm^3/any).

Taula 2.4 Full de qüestions sobre el funcionament de la línia de fangs de l'EDAR del Baix Llobregat, contestat per la mateixa EDAR al 2008.

	Preguntes	Respostes
1	Ens interessa la composició del fang en els punts on feu anàlisis (com per exemple ST, SV, SVbiodegradables, DQO, DBO, pes específic relatiu al fang, pes específic relatiu al sòlid, greixos i olis, proteïnes, nutrients, cel·lulosa, ferro, sílice, pH, Alc, àcids grassos, poder calorífic, metalls pesants). Si hi ha molts punts, només voldríem les dades a l'entrada i sortida de cada procés i a les recirculacions?	No es fan DBO ni DQO, ni control de recirculacions, ni olis, ni greixos ni metalls, ni poder calorific, ni celulosa, etc. Mirar Taula 2.8.
2	Quins gasos es desprenen de l'espessidor de fang primari (per gravetat) i què se'n fa?	H_2S , desodoritzar.
3	Hi ha algun tanc d'homogeneïtzació abans de la digestió? Consumeix energia?	No
4	Quina proporció de fang primari i secundari es barreja per anar a la digestió?	70% primari, 30% biològic.
5	Els digestors tenen aïllament?	No.
6	Les calderes estan en funcionament? Quina quantitat d'oli es treu com a residu i quina és la seva destinació ?	0
7	Hi ha algun intercanviador de calor més, a part del de les culates dels motors de cogeneració?	No.
8	Quantitat de fang deshidratat que surt de la planta i la seva destinació.	Agricultura, 14.342 t MF (MF = matèria fresca. Matèria sobre camió, en el cas del deshidratat vol dir matèria amb el 25% (aprox) de sequedat).
9	Número de camions i capacitat mitja dels camions que transporten el fang deshidratat.	25 t de càrrega neta.
10	Distància mitja que recorren els camions amb el fang deshidratat.	Sense dades.
11	Quantitat de fang assecat que surt de la planta i la seva destinació.	13.121 t MF, agricultura i cimentera.
12	Número de camions i capacitat mitja dels camions que transporten el fang assecat.	25 t de càrrega neta.
13	Distància mitja que recorren els camions amb el fang assecat.	Sense dades.
14	Tota l'energia elèctrica generada es consumeix a la planta? En cas negatiu, quin % s'usa i què se'n fa de la resta?	Sí.

Taula 2.5 Composició del biogàs de l'EDAR del Baix Llobregat (2008). Dades facilitades per la pròpia EDAR.

C1 - C6 + Parafines (Light Hydrocarbons)	Codi IASAL0008	% V	ppmv
Metà	IASAL0008/1	61,15	611.500
Età	IASAL0008/2		<1
Propà	IASAL0008/3		<1
n-Butà	IASAL0008/4		<1
n-Pentà	IASAL0008/5		<1
n-Hexà	IASAL0008/6		<1
GASOS	**Codi IASAL0013**	**% V**	**ppmv**
Diòxid de carboni	IASAL0013/1	37,768	377.680
Monòxid de carboni	IASAL0013/2	ND	<10
Oxigen	IASAL0013/3	0,21	2100
Nitrogen	IASAL0013/4	0,61	6100
Hidrogen	IASAL0013/5	ND	<10
Sulfur d'hidrogen	**Codi IASAL0020**	**ppmv**	**mg/Nm3**
Sulfur d'hidrogen	IASAL0020/1	82,5	126,98

Taula 2.6 Característiques energètiques per al resum anual sobre cogeneració (Annex IV, RD 436/2004) de l'EDAR del Baix Llobregat (2008). Dades facilitades per la pròpia EDAR.

Font d'energia tèrmica	Quantitat obtinguda	Unitats
$Q_{\text{primària}}$ (GN+Biogàs)(1)	56.891.048.202	kcalh
Recuperació aigua (BT) (2)	7.913.916.000	kcalh
Recuperació oli (AT+BT) (3)	15.691.710.000	kcalh
E.E Generada (4)	22.362.616.120	kcalh
REE	**72,9%**	

Nota:º PCI = Poder Calorífic Interior, GN = Gas Natural, BT = Baixa Temperatura, AT = Alta Temperatura, E.E = Energia Elèctrica, REE = Rendiment elèctric equivalent (Consultar el RD 661/2007 i el seu antecessor RD436/2004 (Annex IV).

(1) Energia tèrmica obtinguda del gas natural i del biogàs.

(2) Recuperació de calor dels gasos de la culata del motor de cogeneració.

(3) Recuperació de calor dels olis de la caldera que proveeix de calor l'assecatge tèrmic.

(4) Energia tèrmica obtinguda de l'energia elèctrica generada.

Taula 2.7 Dades anuals (2008) pels edificis de control de l'EDAR del Baix Llobregat facilitades per la pròpia EDAR.

FULL DE RECOPILACIÓ DE DADES		
EDIFICIS DE CONTROL		
Concepte	**Valor**	**Unitats**
CABALS		
AIGUA		
Cabal d'aigua d'entrada	Sense dades	
Cabal d'aigua de sortida	Sense dades	
RESIDUS I DESTINACIÓ		
SUPERFÍCIE OCUPADA:		
CONSUM ENERGÈTIC		
Global dels edificis de control	Sense dades	

Taula 2.8 Característiques del fang de l'EDAR del Baix Llobregat (2008). Dades facilitades per la pròpia EDAR.

Primari [espessit]	Biològic [espessit]	DIGESTIÓ								[deshidratat]		[assecat]
		SSTV (%)				pH	Relació AV/Alc [2]	SST (%)	SSTV (%) [a]			
SST (%)	SST (%)	Primari	biològic excés [1]	digerit [a]	Rendiment					MS (%)	MSV (%)	MS (%)
5,91	4,63	61,74	74,70	54,45	-	7,12	0,02	3,96	53,58	24,01	53,17	87,14

Nota: SST = Sòlids en suspensió totals, SSTV = Sòlids en suspensió totals volàtils, MS = Matèria seca, MSV = Matèria seca volàtil.

Comentaris que fa l'EDAR del Baix Llobregat sobre les dades que facilita:

[1] Fang purgat del reactor biològic-decantador secundari.

[2] La ràtio Àcids Volàtils/Alcalinitat és un paràmetre de control de la bondat de la digestió.

Comentaris:

[a] L'SSTV digerit i els SSTV de "digestió" hauria de coincidir. Es considerarà com a SSTV del fang digerit, la mitjana dels anteriors, 54,02%.

Taula 2.9 Control màssic de l'EDAR del Baix Llobregat (2008). Dades facilitades per la pròpia EDAR.

MES, 2008	F. biològic (Kg de matèria seca)	F. primari (Kg de matèria seca)	TOTAL (Kg de matèria seca)	Bio (%)	Prim (%)	SV Bio (%)	SV Prim (%)	SV Fresc (%)	F. digerit (Kg de matèria seca)	SV Digerit (%)	Kg Volàtils Fresc	Kg Volàtils Digerit	Reducció (Kg)	Reducció (%)
Gener	995.883	1.262.642	2.258.525	44,1%	55,9%	61	55	58	1.963.223	39	1.306.542,17	764.184,71	542.357,46	42%
Febrer	1.034.036	1.218.141	2.252.178	45,9%	54,1%	68	58	63	1.665.343	45	1.409.848,54	746.406,51	663.442,04	47%
Març	1.239.805	1.172.418	2.412.223	51,4%	48,6%	71	60	65	2.010.638	50	1.573.771,76	1.007.128,52	566.643,23	36%
Abril	922.328	1.712.649	2.634.977	35,0%	65,0%	75	62	66	1.837.526	54	1.746.325,87	1.000.578,74	745.747,14	43%
Maig	933.201	1.386.735	2.319.936	40,2%	59,8%	75	61	67	1.518.236	56	1.552.889,29	849.567,02	703.322,27	45%
Juny	746.438	1.073.434	1.819.871	41,0%	59,0%	78	58	66	1.376.157	56	1.203.552,81	774.730,58	428.822,24	36%
Juliol	746.998	1.416.162	2.163.159	34,5%	65,5%	78	64	69	1.588.809	56	1.494.733,16	896.564,75	598.168,41	40%
Agost	365.660	1.102.835	1.468.496	24,9%	75,1%	79	64	68	1.105.767	57	997.986,75	630.176,73	367.810,03	37%
Setembre	651.408	1.274.711	1.926.119	33,8%	66,2%	77	66	70	1.088.461	57	1.346.658,20	625.139,16	721.519,04	54%
Octubre	594.435	1.197.888	1.792.323	33,2%	66,8%	72	68	69	1.295.029	58	1.242.557,04	751.116,59	491.440,45	40%
Novembre	557.834	737.278	1.295.112	43,1%	56,9%	78	66	71	1.022.153	56	920.405,00	574.756,71	345.648,29	38%
Desembre	818.653	1.351.512	2.170.164	37,7%	62,3%	77	65	70	1.634.540	56	1.508.845,08	915.342,28	593.502,80	39%
TOTAL ANUAL	**9.606.679**	**14.906.405**	**24.513.083**	**39%**	**61%**	**74**	**62**	**67**	**18.105.882**	**53**	**16.304.115,67**	**9.535.692,30**	**6.768.423,40**	**41%**

Nota: SV = Sòlids volàtils

3 ANNEX 3. FACTORS DE CARACTERITZACIÓ

3.1 ESGOTAMENT DE RECURSOS ABIÒTICS, ERA 3

3.2 CANVI CLIMÀTIC, CC 4

3.3 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES 4

3.1 ESGOTAMENT DE RECURSOS ABIÒTICS, ERA

Taula 3.1 Factors de caracterització ADP (kg Sb-eq · kg^{-1}) (Guinée *et al*., 2001), pel càlcul de la categoria d'impacte d'Esgotament de recursos abiòtics, ERA.

Substància		**Factors de caracterització**
		ADP
Antimoni		1
Sofre	S, a terra	0,000358
Bauxita	Al_2O_3, mineral	-
Benzina sense refinar		2,01E-02
Calci		7,08E-10
Carbó	a terra	-
Carbó d'alt contingut en sofre		1,34E-02
Carbó de baix contingut en sofre, lignit		6,71E-03
Clor		4,86E-08
Clorur potàssic	KCl, com K_2O, a terra	-
Coure	Cu, mineral	0,00194
Crom	Cr, mineral	0,000858
Fosfats	a terra	-
Fòsfor		8,44E-05
Gas Natural	a terra	0,0187 *
Ferro	Fe, mineral	8,43E-08
Lignit	a terra	-
Magnesi		3,73E-09
Manganès	Mn, mineral	1,38E-05
Níquel	Ni, mineral	0,000108
Perlita	SiO_2	-
Petroli	a terra	-
Plata	Ag, mineral	1,84
Plom	Pb, mineral	0,0135
Potassi	K, com K_2O, a terra	3,13E-08
Sodi		8,24E-11
Sulfat de Bari	$BaSO_4$, a terra	-
Urani	U, mineral	2,87E-03
Zinc	Zn, mineral	0,000992
Energia fòssil		4,18E-04 **

* ADP en kg antimoni/m^3 de gas natural

** ADP en kg antimoni/MJ d'energia fòssil

3.2 CANVI CLIMÀTIC, CC

Taula 3.2 Factors de caracterització GWP (kg CO_2-eq · kg $^{-1}$ de gas), pel càlcul de la categoria d'impacte de Canvi climàtic, CC, per a diferents gasos d'efecte hivernacle i períodes d'integració de 20, 100 i 500 anys, segons Guinée *et al*. (2001).

Substància		**Vida mitjana (anys)**	**Factors de caracterització**		
			GWP_{20}	**GWP_{100}**	**GWP_{500}**
Diòxid de carboni	CO_2		1	1	1
Metà	CH_4	12	56	21	6,5
Haló 1301	CF_3Br	65	6200	5600	2200
Òxid nitrós	N_2O	114	280	310	170
Tetraflorur de carboni	CF_4	50.000	-	-	-

3.3 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

Guinée, J.B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A., de Bruijn, J.S., van Duin, R. i Huijbregts, M.A.J. (2001), *Life Cycle Assessment. An operational guide to the ISO standards, vol 1, 2 i 3*. Centre of Environmental Science Leiden University (CML). Disponible a: [http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.htm]