

ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA (ACV) DEL CONSUM D'AIGUA

POTABLE: Aigua de l'aixeta, aigua osmotitzada i aigua envasada

VÁZQUEZ, N. Titulada en Enginyera Tècnica d'Obres Públiques, Universitat Politècnica de Catalunya.

marinieves.vazquez@hotmail.com

FERRER, I. Professora del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya. ivet.ferrer@upc.edu

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

1.1. Introducció

L'aigua és un bé essencial per a la nostra vida i som cada cop més exigents amb la seva qualitat. De fet, cada cop es consumeix més aigua envasada (282 milions de m³ al conjunt de l'Estat Espanyol durant l'any 2010 segons l'Associació Nacional d'Empreses d'Aigües de Beguda Envasades i el 58% de l'aigua consumida a l'Àrea Metropolitana de Barcelona segons l'Agència Catalana de l'Aigua), procedent de reserves subterrànies (aigua mineral) o de la mateixa xarxa d'abastament públic (aigua tractada o purificada), que es ven en ampolles de diferents mides i materials.

El consum d'aigua envasada comporta diferents impactes negatius sobre l'entorn. El més visible és la generació d'una gran quantitat de residus d'envasos, principalment ampolles i garrafes de plàstic, que s'han de reciclar per tal de minimitzar els impactes generats, amb els conseqüents costos de gestió i tractament. Una minimització dels residus associats al consum d'aigua, per exemple potenciant el consum d'aigua de l'aixeta mitjançant el seu tractament per tal de millorar-ne la qualitat, permetria reduir els costos de tractament d'aquests residus.

L'Anàlisi del Cicle de Vida (ACV) és una metodologia que permet fer un estudi ambiental complet i rigorós, tenint en compte la totalitat del cicle de vida del producte o procés, considerant tots els possibles impactes ambientals (Fullana i Puig, 1997).

Aquest projecte pretén utilitzar la metodologia de l'ACV per comparar diferents alternatives de consum d'aigua (aigua de l'aixeta, aigua de l'aixeta tractada amb osmosi inversa, aigua envasada en envàs de plàstic i de vidre) i determinar quina opció produeix el mínim impacte ambiental, tot considerant el tractament del residu generat. L'estudi es complementa amb aspectes econòmics relacionats amb el consum d'aigua.

1.2. Objectius

L'objectiu general d'aquest projecte de recerca és comparar els impactes ambientals i aspectes econòmics de cinc alternatives de consum d'aigua mitjançant la metodologia de l'Anàlisi del Cicle de Vida. Els escenaris considerats són:

- *Escenari 0:* Consum d'aigua de l'aixeta.
- *Escenari 1:* Consum d'aigua de l'aixeta tractada amb osmosi inversa a la potabilitzadora.
- *Escenari 2:* Consum d'aigua de l'aixeta tractada amb aparells d'osmosi inversa domèstics.
- *Escenari 3:* Consum d'aigua en ampolles de plàstic reciclable.
- *Escenari 4:* Consum d'aigua en ampolles de vidre reutilitzable.

L'ACV es realitza segons la metodologia indicada per les normes UNE-EN ISO 14040/2006 i 14044/2006, amb el suport del software Simapro 7.1.

Les dades utilitzades a l'ACV provenen de l'Estació de Tractament d'Aigua Potable (ETAP) de Sant Joan Despí de l'empresa AGBAR, per als escenaris d'aigua de l'aixeta (escenari 0), aigua de l'aixeta tractada amb osmosi inversa a l'ETAP (escenari 1) i aigua de l'aixeta tractada amb aparells d'osmosi inversa domèstics (escenari 2). Per a l'escenari 2, s'empraran dades de proveïdors d'aparells d'osmosi inversa domèstics (principalment Salvador Escoda i Ionfilter). Per a l'escenari 3, aigua envasada en plàstic, provenen d'empreses subministradores

d'aigua envasada i, per a l'escenari 4 d'aigua envasada en vidre, d'empreses subministradores d'aigua envasada i de la literatura.

2. REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA

2.1. L'aigua potable

Es denomina aigua potable o aigua per al consum humà l'aigua que pot ésser consumida sense restricció ja que no representa un risc per a la salut (Norma Tècnico-Sanitària, 2003). El terme d'aigua potable s'aplica a l'aigua que compleix amb les normes de qualitat promulgades per les autoritats locals i internacionals.

La qualitat de l'aigua destinada a la producció d'aigua potable està regulada per la Directiva Marc de l'Aigua (DMA) i la Norma Tècnico-Sanitària del 2003. La normativa estableix els caràcters organolèptics, fisicoquímics i microbiològics de l'aigua, a més de les substàncies no desitjables, tòxiques o perilloses i la radiactivitat.

Per tal de complir la normativa, l'aigua que s'utilitza per a produir aigua potable se sotmet a diversos sistemes de tractament, als quals es modifiquen les substàncies presents a l'aigua de la font perquè es pugui consumir com a aigua potable. A la potabilització convencional s'apliquen processos físics i fisicoquímics destinats a l'eliminació de sòlids de l'aigua, matèria en suspensió i microorganismes patògens. Els processos de membrana s'apliquen per tal de millorar la seva qualitat.

2.2. Osmosi inversa

L'osmosi inversa és un procés físic de tractament de l'aigua que consisteix en fer-la passar a gran pressió per unes membranes semipermeables que permeten separar-ne substàncies de mida superior a 0,1–2 nm. Així, permet retenir ions i, per tant, desmineralitzar l'aigua. És el principi que s'utilitza per desalinitzar l'aigua, però també per millorar-ne la qualitat.

Cal tenir en compte, però, que en fer passar l'aigua a través de membranes, a més d'obtenir l'aigua osmotitzada o desmineralitzada, s'obté un rebuig, un residu líquid concentrat en sals que s'ha de gestionar adequadament.

Els avenços tecnològics han permès que la tècnica d'osmosi inversa hagi passat a ser accessible per al tractament de l'aigua de la llar i millorar-ne la seva qualitat. L'osmosi inversa domèstica elimina el clor (i per tant el gust i olor desagradables que provoca), els sulfats i clorurs, metalls pesants, pesticides, etc. Tot i així, també cal considerar que el sistema és complex i costós, i que desaprofita una quantitat d'aigua important (el rebuig típic és del 35 al 80%). L'aigua de rebuig és un dels principals defectes d'aquest sistema, tot i que ben planificat aquesta aigua es pot aprofitar, per exemple per omplir les cisternes del WC.

2.3. Aigües envasades

Hi ha diversos tipus d'aigües envasades en funció de les seves característiques, com poden ser l'aigua mineral natural, les aigües de manantial o les aigües preparades. Aquestes aigües estan regulades pel Reial Decret 1074/2002 de 18 d'octubre. Aquest decret també estableix els envasos que es poden emprar, principalment s'utilitzen envasos de PET i vidre.

2.4. Estat de l'art de l'ACV aplicat a l'aigua

Durant els últims anys s'han realitzat diferents estudis d'ACV per tal de comparar els impactes ambientals de diferents sistemes de tractament de l'aigua potable o diferents alternatives de consum d'aigua.

Lagioia *et al.* (2012) van comparar els impactes ambientals de l'aigua de l'aixeta i l'aigua envasada a Itàlia en termes de matèria i energia i van concloure que l'aigua envasada requeria una major quantitat de matèries primeres i energia que l'aigua de l'aixeta i generava més residus, principalment per l'envasat.

Bonton *et al.* (2012) compararen una planta de potabilització convencional i una planta de nanofiltració a Canadà. Com a resultats van obtenir majors impactes per a la potabilització convencional que per al sistema de nanofiltració, principalment deguts a la producció del carbó activat, a l'alúmina per a la coagulació, al consum d'electricitat i al tractament de les aigües residuals i disposició final dels fangs generats.

Vince *et al.* (2008), van desenvolupar una eina per a l'avaluació ambiental d'escenaris d'abastament d'aigua potable a França, amb l'objectiu d'avaluar els impactes de les diferents tecnologies aplicades a cada procés de

tractament d'aigua: processos de tractament convencionals com la coagulació, floculació, decantació, filtració i l'adsorció amb carbó activat; processos de tractament per membrana com la microfiltració, ultrafiltració i nanofiltració; processos de dessalinització com la destil·lació tèrmica i l'osmosi inversa; i processos de desinfecció com l'ozonació, radiació UV i l'oxidació. Van concloure que els majors impactes eren deguts a la producció de coagulants (clorur de ferro), la d'electricitat i d'altres compostos químics per a la remineralització (sosa i diòxid de carboni). També van adonar-se que els impactes generats en la producció de l'ozó i el carbó activat eren significatius, malgrat les petites dosificacions emprades.

Fins a l'actualitat no s'ha realitzat cap estudi que avalui el tractament amb osmosi inversa domèstica, ni que compari els impactes ambientals de l'aigua potable convencional, l'aigua potable convencional tractada amb osmosi inversa a la pròpia potabilitzadora, l'aigua potable convencional tractada amb osmosi inversa domèstica i l'aigua envasada, que és l'objectiu d'aquest projecte de recerca.

3. INFORME DE L'ACV

3.1. Definició de l'objectiu i de l'abast de l'estudi

3.1.1. Descripció del sistema a estudiar

Per a l'escenari 0, de consum d'aigua de l'aixeta, l'estudi considera el tractament de potabilització de l'aigua que es realitza a l'Estació de Tractament d'Aigua Potable (ETAP) de Sant Joan Despí, que subministra l'aigua a part de Barcelona i la seva Àrea Metropolitana. El tractament de l'aigua consisteix en: coagulació (desestabilització de la càrrega superficial dels col·loides que formen la matèria en suspensió de l'aigua mitjançant l'addició de coagulants), floculació (aplicació d'una energia suau a l'aigua per afavorir la formació de flocs), sedimentació (separació dels flocs de l'aigua per acció de la gravetat), filtració (eliminació de les restes de flocs que no hagin sedimentat, mitjançant filtres de sorra), adsorció amb carbó activat (adsorció de compostos orgànics i òxids metàl·lics a la superfície del carbó activat que es disposa en forma de filtre) i desinfecció (ozonació per tal d'eliminar microorganismes i oxidar matèria orgànica, i cloració per tal de garantir la desinfecció a la xarxa de distribució).

A l'escenari 1, de consum d'aigua de l'aixeta tractada amb osmosi inversa a la pròpia potabilitzadora, l'estudi inclou els processos de potabilització de l'aigua abans esmentats i el procés d'osmosi inversa (eliminació de virus i bacteris, i de pràcticament tots els compostos orgànics i inorgànics fent passar l'aigua a través de membranes a gran pressió) i remineralització (a través d'un llit de calcita). Actualment ja es realitza a la mateixa ETAP de Sant Joan Despí d'un 45% del cabal d'aigua que es tracta.

Per a l'escenari 2, de consum d'aigua de l'aixeta tractada amb aparells d'osmosi inversa domèstics, es consideren els processos de potabilització de l'aigua i el procés de tractament amb osmosi inversa domèstic.

Als escenaris 3 i 4, de consum d'aigua envasada, es consideren els impactes derivats de l'envasat de l'aigua i de la fabricació dels envasos, tant de PET com de vidre.

3.1.2. Unitat funcional

L'unitat funcional és el tractament de 1 m³ d'aigua per beure, ja sigui aigua de l'aixeta tractada a la potabilitzadora, aigua potable tractada mitjançant osmosi inversa o aigua envasada.

Per tant, els resultats de les categories d'impacte a comparar entre les diferents alternatives fan referència a l'impacte que genera el consum d'1 m³ d'aigua per beure.

3.1.3. Límits del sistema

El sistema considerat en aquest ACV inclou:

- Per a la potabilització de l'aigua: els fluxos d'entrada i sortida de matèria (principalment compostos químics) i energia (electricitat) de tots els processos unitaris; l'impacte de la generació i transport de l'electricitat necessària per a l'operació de la planta; els impactes associats a la producció dels diferents compostos químics que intervenen al tractament de potabilització de l'aigua, com poden ser els coagulants, desinfectants, etc; la captació de l'aigua i el seu transport fins la planta de potabilització; i els impactes generats per la disposició final del fang (incineració).

- Per al tractament amb osmosi inversa, es consideren l'energia necessària per al tractament de l'aigua i les matèries primeres per a la remineralització de la mateixa.
- Per al tractament amb osmosi inversa domèstica, es considera l'energia necessària pel funcionament de l'aparell quan la pressió de xarxa és insuficient i s'ha de fer servir una bomba per donar pressió a l'aigua.
- Per a l'aigua envasada, es tenen en compte les matèries primeres i l'energia per a la fabricació dels envasos (PET o vidre) i l'energia necessària per a la captació de l'aigua mineral (bombes).

L'ACV desenvolupat no té en compte:

- Les fases de construcció i desmantellament de les instal·lacions.
- La recirculació de l'aigua de neteja dels filtres cap a la capçalera de la planta.
- El transport i la distribució del fang un cop surt de la planta.
- La reposició del material granular dels filtres, i la reposició i regeneració del carbó activat per manca de dades.
- Els impactes de les operacions de manteniment de la planta.
- Els impactes de la distribució de l'aigua des de la potabilitzadora fins a les llars, ja que es considera negligible l'impacte del transport per canonada en comparació amb el volum d'aigua que circula.
- Els impactes derivats de l'abocament del rebuig de l'osmosi inversa al mar.
- L'aigua residual generada pel rebuig dels aparells d'osmosi inversa domèstics, ja que aquesta aigua es pot aprofitar, per exemple per omplir la cisterna del WC.
- Els impactes del transport de l'aigua envasada.
- Els impactes de la fabricació de la maquinària necessària per la potabilització o envasat de l'aigua i dels aparells d'osmosi inversa.

3.1.4. Categories d'impacte

Els impactes considerats en aquest projecte són: esgotament de recursos abiòtics, acidificació, eutrofització, escalfament global, destrucció de la capa d'ozó, toxicitat humana, ecotoxicitat de l'aigua dolça, ecotoxicitat de l'aigua marina, ecotoxicitat terrestre i formació d'oxidants fotoquímics. El mètode d'avaluació de l'impacte del cicle de vida és el CML 2 baseline 2000 (PreConsultants, 2009), que segueix les indicacions de les normes ISO (UNE-EN 14040/2006, UNE-EN ISO 14044/2006).

3.1.5. Limitacions

La principal dificultat, i per tant limitació, d'aquest anàlisi del cicle de vida, és la recopilació de dades i la seva validació.

3.2. Anàlisi de l'inventari del cicle de vida

3.2.1. Recopilació de dades

Les dades que s'han emprat per a l'ACV són:

- Dades procedents d'instal·lacions de tractament d'aigua potable, concretament de l'ETAP de Sant Joan Despí gestionada per l'empresa privada AGBAR.
- Dades procedents d'empreses subministradores d'aigua envasada.
- Càlculs teòrics a partir de dades procedents de subministradors d'aparells d'osmosi inversa i de la bibliografia. Principalment s'han considerat els distribuïdors d'aparells d'osmosi inversa Salvador Escoda S.A., Ionfilter i Mercabomba. S'ha considerat un aparell del fabricant Ionfilter, model CM Classic CS Pump pel desenvolupament del projecte.

Per tal de determinar l'impacte ambiental s'utilitza el software SimaPro 7.1.

3.2.2. Resultats de l'inventari del cicle de vida

Els resultats de l'inventari del cicle de vida es presenten a les Taules 1 a 4 referits a l'unitat funcional (1 m³ d'aigua per beure), per a cadascuna de les alternatives de consum d'aigua considerades. A la Taula 1 es mostren els resultats de l'inventari per a l'alternativa de consum d'aigua de l'aixeta (escenari 0). A la Taula 2 es poden veure els resultats de l'inventari per a l'alternativa de consum d'aigua de l'aixeta tractada amb osmosi inversa a l'ETAP (escenari 1). A la Taula 3 es veuen els resultats de l'inventari per a l'alternativa de consum d'aigua de l'aixeta tractada amb osmosi inversa a les llars (escenari 2) i a les Taules 4 i 5, els resultats de l'inventari per a les alternatives de consum d'aigua envasada en PET i vidre (escenaris 3 i 4), considerant que els envasos de vidre es reutilitzen 8 cops i que es recicla el 50% dels envasos de PET. Per a l'alternativa de consum d'aigua envasada en vidre s'ha considerat un consum energètic semblant al de l'aigua envasada en PET d'acord amb Lagiogia *et al.* (2012). El consum de sosa càustica per a la neteja d'envasos s'ha considerat de 7,5 kg/m³ d'acord amb el projecte informatiu "mejores técnicas disponibles en el sector cervecero" realitzat per AINIA i CE, ja que els envasos d'aigua de vidre reutilitzable es netegen de la mateixa forma que els envasos de cervesa de vidre reutilitzables.

Taula 1. Aigua de l'aixeta

Consums/Entrades	Valor
Energia	0,484 kWh/m ³
Coagulants (sulfat d'alumini)	0,029 kg/m ³
Reposició carbó activat	0,0013 kg/ m ³
Clor	0,007 kg/ m ³
Ozó	0,0048 kg/ m ³
Residus/Sortides	Valor
Fang	0,047 kg/ m ³
Carbó a regenerar	0,024 kg/ m ³

Taula 2. Aigua tractada amb osmosi inversa a l'ETAP

Consums/Entrades	Valor
Energia ETAP	0,484 kWh/m ³
Coagulants	0,029 kg/m ³
Clor	0,007 kg/ m ³
Ozó	0,0048 kg/ m ³
Reposició carbó activat	0,0013 kg/ m ³
Energia per al procés d'osmosi inversa	1,07 kWh/m ³
CaCO ₃ remineralització	0,115 kg/ m ³
Residus/Sortides	Valor
Fang	0,047 kg/ m ³
Carbó a regenerar	0,024 kg/ m ³
Rebuig de l'osmosi inversa (10%)	100 L/m ³

Taula 3. Aigua tractada amb aparells d'osmosi inversa domèstics

Consums/Entrades	Valor
Energia ETAP	0,484 kWh/m ³
Coagulants	0,029 kg/m ³
Clor	0,007 kg/ m ³
Ozó	0,0048 kg/ m ³
Reposició carbó activat	0,0013 kg/ m ³
Energia per al procés d'osmosi Inversa domèstic	0,145 kWh/m ³
Residus/Sortides	Valor
Fang	0,047 kg/ m ³
Carbó a regenerar	0,024 kg/ m ³
Rebuig de l'osmosi inversa	350 L/m ³

Taula 4. Aigua envasada en PET

Consums/Entrades	Valor
Energia	12,006 kWh/m ³
PET ⁽¹⁾	20,01 kg/m ³
Taps LDPE ⁽²⁾	1 kg/m ³
Paper	0,94 kg/m ³
Pega	0,067 kg/m ³
Retràctil pack 6 unitats (PE ⁽³⁾)	2,65 kg/m ³
Nansa per a transportar el Pack (PE)	0,26 kg/m ³
Residus/Sortides	Valor
Mermes de PET a reciclar	0,6 kg/m ³
PET a reciclar	10 kg/m ³
PET a abocador	10 kg/m ³

Taula 5. Aigua envasada en vidre

Consums/Entrades	Valor
Energia	12 kWh/m ³
Aigua de neteja	37,5 L/m ³
Sosa càustica de neteja	7,5 kg/m ³
Vidre	125 kg/m ³
Taps LDPE ⁽²⁾	2,35 kg/m ³
Paper	0,83 kg/m ³
Pega	0,10 kg/m ³
Residus/Sortides	Valor
Vidre a reutilitzar	125 kg/m ³

- (1) PET: tereftalat de polietilè
 (2) LDPE: polietilè de baixa densitat
 (3) PE: polietilè

3.2.3. Resultats finals del consums elèctrics i emissions de CO₂ degudes al consum d'energia elèctrica

La quantitat de CO₂ 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. A Espanya el factor d'emissió mitjà al 2011 va ser de 0,223 kgCO₂/kWh (Observatorio de la Electricidad WWF España, 2011).

A la Taula 6 es poden veure els consums elèctrics per a cadascuna de les alternatives considerades i les emissions de CO₂ degudes al consum elèctric referits a la unitat funcional. A les Figures 1 i 2 es pot veure una comparació dels consums d'electricitat i de les emissions de CO₂ degudes al consum d'electricitat, respectivament.

Taula 6. Consums elèctrics i emissions de CO₂ degudes al consum d'electricitat

ESCENARI	ORIGEN DADES	CONSUM ELÈCTRIC	EMISSION DE CO ₂
0) Aigua de l'aixeta	ETAP St. Joan Despí	0,484 kWh/m ³	0,108 kg CO ₂ /m ³
1) Osmosi inversa ETAP	ETAP St. Joan Despí	0,484 kWh/m ³ ETAP 1,07 kWh/m ³ OI Total: 1,554 kWh/m ³	0,346 kg CO ₂ /m ³
2) Osmosi inversa domèstica	Dades consum Ionfilter P = 29 W, Q = 1L/18seg	0,484 kWh/m ³ ETAP 0,145 kWh/m ³ OI Total: 0,629 kWh/m ³	0,14 kg CO ₂ /m ³
3) Aigua envasada PET	Empresa envasadora aigua mineral	12,006 kWh/m ³	2,68 kg CO ₂ /m ³
4) Aigua envasada vidre	Empresa envasadora aigua mineral i Lagiogia et al. (2012)	12 kWh/m ³	2,67 kg CO ₂ /m ³

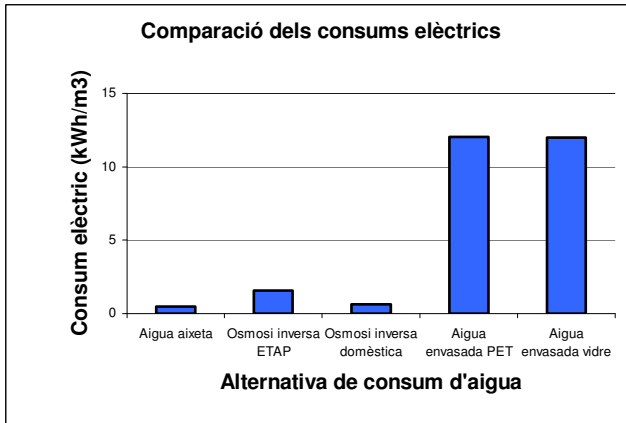


Figura 1. Consum elèctric

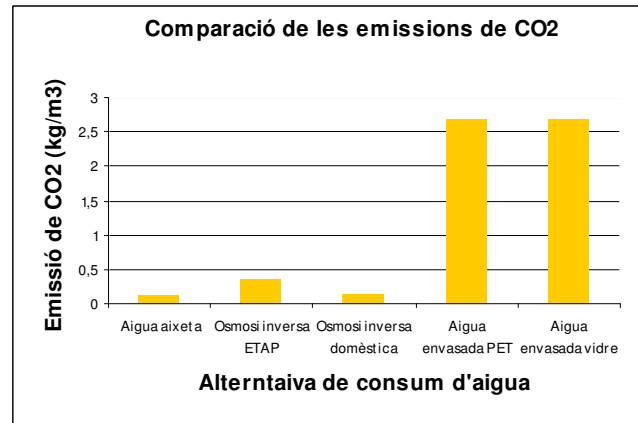


Figura 2. Emissions de CO₂

3.3. Avaluació de l'impacte ambiental del cycle de vida

3.3.1. Classificació i caracterització

L'etapa de classificació s'ha realitzat amb l'ajuda del software SimaPro 7.1 i utilitzant el mètode CML 2 baseline 2000, de la mateixa forma que per a obtenir el perfil ambiental de les alternatives de consum d'aigua considerades (caracterització). S'han tingut en compte totes les categories d'impacte que estudia aquest mètode d'avaluació de l'impacte.

En aquest estudi només s'arriba a la fase de caracterització dels resultats, però no s'arriba a les fases de normalització, agrupació i valoració, ja que no són fases obligatòries en realitzar un estudi d'ACV i s'introdueixen elements subjectius que no interessen en aquest estudi.

3.3.2. Resultats de l'avaluació de l'impacte ambiental del cycle de vida

A les Figures 3 i 4 es presenten els resultats globals dels impactes comparant l'impacte total, l'impacte de la producció de l'aigua potable i l'impacte del tractament del residu generat en la producció (incineració del fang de la potabilitzadora, reciclatge del PET, reutilització i reciclatge del vidre) per a les diferents categories d'impacte i els diferents escenaris de consum d'aigua considerats. Es presenten per una banda els impactes generats a les alternatives de consum d'aigua de l'aixeta, aigua tractada amb osmosi inversa a l'ETAP i aigua tractada amb osmosi inversa a les llars (Figura 3) i per altra banda els impactes de l'aigua envasada en PET i vidre (Figura 4), en ser els valors dels potencials impactes molt diferents entre l'aigua tractada i l'aigua envasada, noteu que les escales de les dues figures són molt diferents.

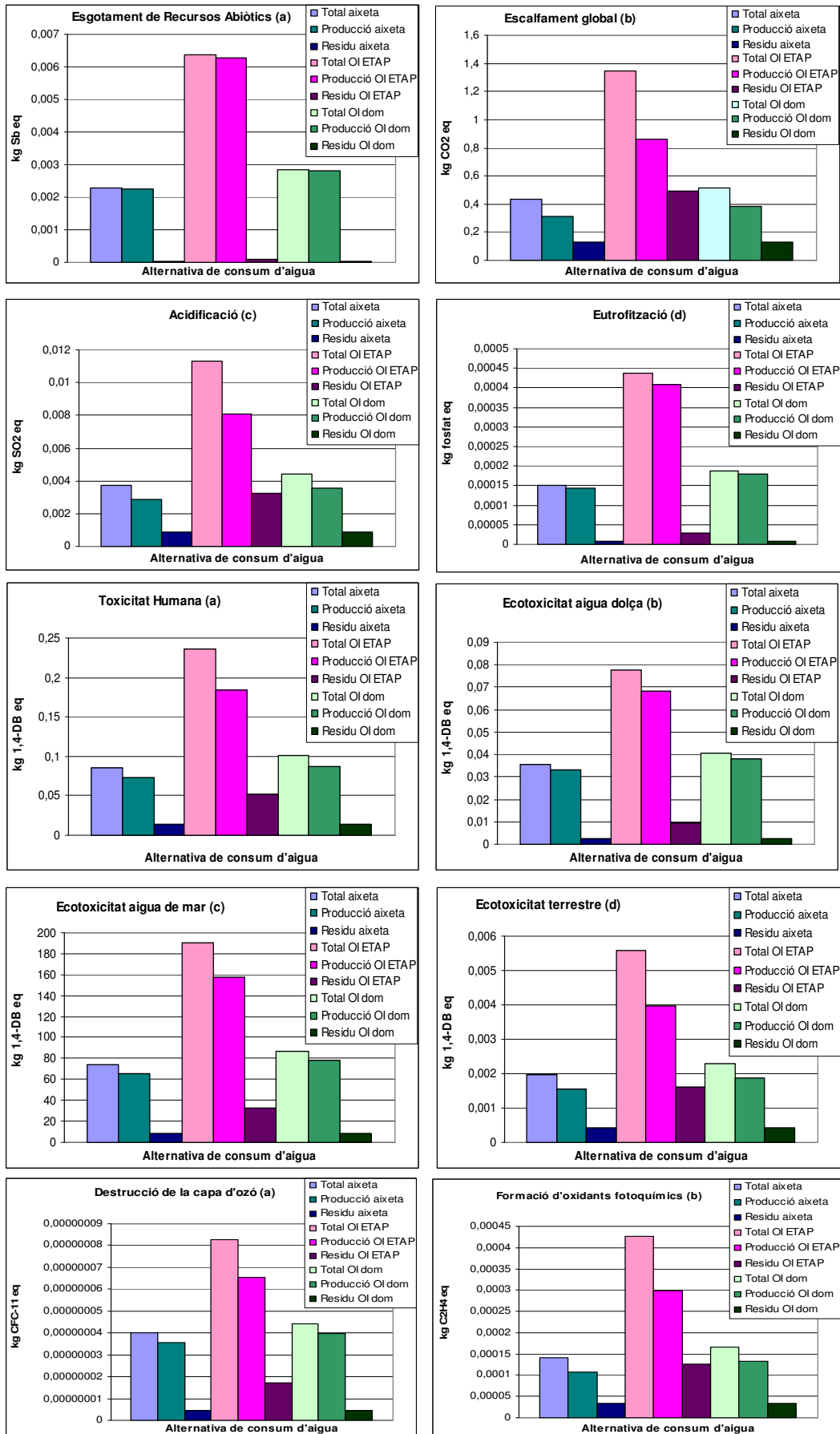


Figura 3. Comparació dels impactes totals, impactes de la producció de l'aigua potable i impactes del tractament del residu generat en la producció de l'aigua, de les alternatives de consum d'aigua tractada.

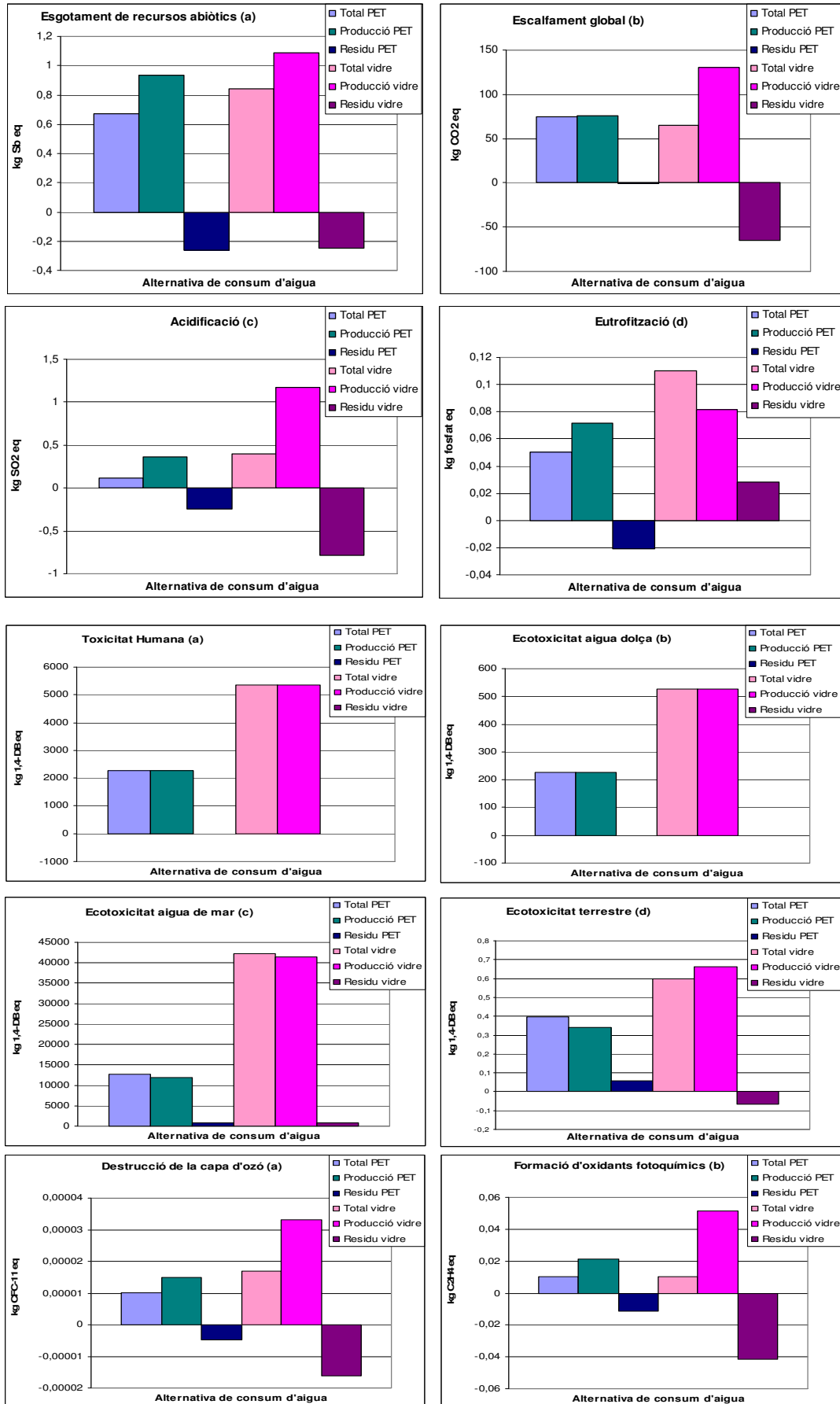


Figura 4. Comparació dels impactes totals, impactes de la producció de l'aigua potable i impactes del tractament del residu generat en la producció de l'aigua, de les alternatives de consum d'aigua envasada.

3.4. Interpretació del cicle de vida

3.4.1. Identificació dels assumptes significatius

Aigua de l'aixeta: Els majors impactes es donen per a les categories d'impacte d'escalfament global, toxicitat humana i ecotoxicitat de l'aigua de mar, deguts al consum d'electricitat procedent de combustibles fòssils i d'energia nuclear. La major part dels impactes són deguts al tractament de l'aigua (principalment pel consum energètic i per la producció de coagulants).

Aigua tractada amb osmosi inversa a l'ETAP: Els majors impactes es donen per a les categories d'escalfament global, toxicitat humana i ecotoxicitat de l'aigua de mar, de la mateixa forma que a l'aigua de l'aixeta, però essent els impactes aproximadament el doble, pel major consum d'electricitat. La major part dels impactes són deguts al tractament de l'aigua (principalment pel consum energètic i per la producció de coagulants), però en algunes categories, com per exemple escalfament global o acidificació, també hi ha impactes degut a la gestió dels residus.

Aigua tractada amb aparells d'osmosi inversa domèstics: els majors impactes es donen per a les categories d'escalfament global, toxicitat humana i ecotoxicitat de l'aigua de mar. Els impactes generats al tractament amb osmosi inversa domèstica són lleugerament superiors que els impactes de l'aigua de l'aixeta, però inferiors als impactes deguts al tractament amb osmosi inversa a l'ETAP, pel menor consum energètic. La majoria es donen al tractament de l'aigua, pel consum energètic i la potabilització de l'aigua de l'aixeta.

Aigua envasada en PET: els majors impactes es donen per a les categories d'ecotoxicitat de l'aigua de mar, toxicitat humana, ecotoxicitat de l'aigua dolça, escalfament global i esgotament de recursos abiòtics. Aquests impactes són deguts principalment a la producció de les matèries primeres necessàries per a la fabricació del PET i PE. Els impactes de l'aigua envasada són molt superiors als impactes de l'aigua de l'aixeta, aigua tractada amb osmosi inversa a l'ETAP i aigua tractada amb osmosi inversa domèstica. Pràcticament tots els impactes són deguts a l'envasat de l'aigua (a la producció dels envasos de PET, pel consum d'àcid teraftàlic i etilenglicol i d'energia elèctrica, també es produeixen impactes importants a la producció dels retràctils i nanses de PE i els taps de LDPE), ja que el reciclatge del PET redueix els impactes totals (la reducció de l'impacte total seria major si només es considerés la recuperació de matèries primeres, però en tenir en compte el consum energètic pel procés de reciclatge la reducció d'impactes és menor). Cal esmentar que a diferència de les alternatives de consum d'aigua tractada, en el cas de l'aigua envasada en PET, els impactes deguts al consum d'energia elèctrica són menyspreables en comparació amb els impactes causats per la producció del PET i PE.

Aigua envasada en vidre: els majors impactes es donen per a les categories d'ecotoxicitat de l'aigua de mar, toxicitat humana, ecotoxicitat de l'aigua dolça, escalfament global, esgotament de recursos abiòtics i ecotoxicitat terrestre, principalment per la producció de les ampolles de vidre. Cal esmentar que els impactes de l'aigua envasada en vidre són superiors a la resta d'alternatives considerades per a totes les categories d'impacte excepte per a les d'escalfament global i formació d'oxidants fotoquímics on l'impacte de l'aigua envasada en PET és major. La principal causa d'impactes és la producció dels envasos de vidre (pel consum energètic, de silicats i d'etilè pels taps i de sosa càustica per a la neteja dels envasos reutilitzables). La reutilització i posterior reciclatge del vidre redueix l'impacte total en un 30%.

En general es pot veure que els majors impactes ambientals es donen per a l'aigua envasada per a totes les categories d'impacte, degut a l'elevat consum energètic i de matèries primeres requerit per fabricar els envasos.

L'impacte de l'aigua envasada en vidre és superior que el de l'aigua envasada en PET per a la majoria de categories, excepte per a les d'escalfament global i formació d'oxidants fotoquímics on l'impacte de l'aigua envasada en PET és superior, degut a les emissions de CO₂, òxids de sofre i de nitrogen i hidrocarburs pel reciclatge del PET.

Quan es comparen els impactes de l'aigua tractada (aigua de l'aixeta, aigua tractada amb osmosi inversa a l'ETAP i aigua tractada amb osmosi inversa domèstica) es pot veure que els majors impactes es donen a l'aigua tractada amb osmosi inversa a l'ETAP, degut al major consum energètic.

3.4.2. Avaluació

S'han realitzat anàlisis de sensibilitat respecte: 1) el consum energètic dels aparells d'osmosi inversa domèstics (ja que el consum varia en funció de la qualitat de l'aparell); 2) el percentatge d'envasos de PET que es reciclen (que s'ha considerat d'un 50%); i 3) el consum energètic per a l'escenari d'aigua envasada en vidre (ja que, per manca

de dades, s'ha tingut en compte un consum equivalent a l'aigua envasada en PET d'acord amb Lagiogia *et al.* (2012)).

Pel que fa a l'anàlisi de sensibilitat respecte el consum energètic de l'aparell d'osmosi inversa domèstica, es consideren uns consums de 29 W (consum de l'aparell emprat al projecte del fabricant Ionfilter), 50 W, 100 W i 200 W (dada de consum facilitada pel fabricant Mercagas de gran part dels aparells que distribueix l'empresa Salvador Escoda). L'anàlisi de sensibilitat mostra com l'impacte augmenta per a totes les categories en augmentar el consum energètic de l'aparell. En analitzar els resultats, es pot veure com l'augment de l'impacte és lleuger en augmentar el consum de 29 W a 100 W, però l'augment de l'impacte es dispara per a consums superiors a 100 W. Això indica que caldria utilitzar aparells amb un consum inferior a 100 W.

Pel que fa a l'anàlisi de sensibilitat respecte el percentatge d'envasos de PET que es reciclen, es considera un percentatge de reciclatge d'envasos baix (25%), mitjà (50%), elevat (75%) i total (100%). Els resultats mostren que en augmentar el percentatge d'envasos que es recicla es redueixen els impactes per a les categories d'esgotament de recursos abiòtics, acidificació, eutrofització, escalfament global, destrucció de la capa d'ozó i formació d'oxidants fotoquímics (degut a l'estalvi energètic i de matèries primeres per a produir el PET); però no per a les categories de toxicitat humana i ecotoxicitat, a les que s'aprecien lleugers augments dels impactes (probablement degut a les emissions de partícules i metalls pesants durant el procés de reciclatge del PET).

Pel que fa a l'anàlisi de sensibilitat respecte el consum energètic a l'escenari d'aigua envasada en vidre, es consideren consums de 10 kWh/m³ (inferior al consum de l'aigua envasada en PET), 12 kWh/m³ (equivalent a l'aigua envasada en PET), 20 kWh/m³ i 30 kWh/m³ (superiors a l'aigua envasada en PET). Els resultats mostren que el consum energètic influeix d'una forma important als impactes ambientals, augmentant els impactes per a totes les categories en augmentar el consum, especialment per a les categories d'esgotament de recursos abiòtics, escalfament global i destrucció de la capa d'ozó, que estan molt influenciades pel consum energètic i principalment per la generació d'electricitat.

4. ASPECTES ECONÒMICS

A la Taula 7 es presenta un resum dels aspectes econòmics considerats a l'hora d'avaluar el consum d'un tipus o altre d'aigua, des del punt de vista del consumidor.

Per tal d'avaluar el cost econòmic de l'aigua de l'aixeta (escenari 0), s'ha considerat el preu de l'aigua al consumidor i el cànon de l'aigua, i les dades provenen del rebut de l'aigua a l'AMB.

El preu de l'aigua si es tractés tota l'aigua de l'ETAP amb osmosi inversa (escenari 1) és aproximat, ja que en l'actualitat no es realitza i per tant no es pot conèixer. S'estima que aquest preu estarà comprès entre el preu actual de l'aigua de l'aixeta (0,4889 €/m³, considerant que el 45% d'aquesta aigua es tracta amb osmosi inversa a l'ETAP) i el preu de l'aigua de mar desalinitzada (al voltant d'1€/m³). L'osmosi inversa d'aigua potable, que té menys salinitat que l'aigua de mar, requereix una menor pressió de les bombes i per tant també un menor consum elèctric i cost (es considera un preu de 0,75 €/m³). A més, cal sumar-hi el cànon de l'aigua.

Per tal d'avaluar el preu de l'aigua tractada amb osmosi inversa a les llars (escenari 2), s'ha considerat el preu de l'aigua de l'aixeta i l'amortització de l'equip d'osmosi inversa domèstic considerant una vida útil de 10 anys. En aquest càlcul, també s'ha considerat el cost dels recanvis de filtres de sediment, de carbó activat, postfiltres i membrana, i el rebuig de l'osmosi. En realitzar els càlculs, es considera una família mitjana de 4 membres, per tant, un consum aproximat de 12 L/dia d'aigua osmotitzada per a beure i cuinar.

Els preus de l'aigua envasada en PET i vidre (escenaris 3 i 4) són preus mitjans de venda al públic, es considera un cost mitjà de les ampolles de 1,5 L de PET de 0,4€ i de les ampolles de 1L de vidre de 0,6€.

Per complementar l'avaluació dels aspectes econòmics s'ha realitzat una anàlisi de sensibilitat respecte el preu dels aparells d'osmosi inversa domèstics. En funció del preu els aparells d'osmosi inversa domèstica ofereixen diferents rendiments, principalment en quant al rebuig d'aigua i el consum energètic. També en funció del model d'aparell, el preu dels recanvis varia. L'anàlisi mostra com els aparells més econòmics suposen un malbaratament important d'aigua de l'aixeta i, a la vegada, no suposen una variació important en quant al preu final del m³ d'aigua osmotitzada (entre l'equip més econòmic i l'equip triat per al desenvolupament del projecte hi ha una diferència de preu de 310 € i, en canvi, el preu del m³ d'aigua osmotitzada només augmenta al voltant de 3€, havent-hi una gran diferència en l'aigua rebutjada per l'aparell). A la Figura 5 es poden veure les variacions al preu de l'aparell i el preu del m³ d'aigua osmotitzada per als models d'equips d'osmosi inversa considerats, es pot

veure com l'augment en el preu de l'aparell no està directament relacionat amb l'augment del preu del m³ d'aigua osmotitzada, ja sigui per les variacions dels preu dels recanvis de filtres i membranes o per la reducció d'aigua de rebuig que redueix el cost d'aigua de l'aixeta. Per exemple, pel model triat al projecte, l'elevat preu inicial es compensa amb la disminució del preu del m³ d'aigua tractada.

Taula7: Resum del cost de l'aigua en funció de l'alternativa de consum

ESCENARI	COST	CONSIDERACIONS
0) Aigua de l'aixeta	0,95 €/m ³	Es considera el preu de l'aigua i el cànon de l'aigua.
1) Aigua tractada amb osmosi inversa a l'ETAP	1,20 €/m ³	És un preu aproximat per manca de dades. Es considera que el preu estarà comprés entre el preu de potabilització i el de dessalinització. Es considera també el cànon de l'aigua.
2) Aigua tractada amb osmosi inversa domèstica	31 €/m ³	Es considera el preu de l'aigua de l'aixeta, el preu d'amortització de l'equip d'osmosi inversa domèstic i els preus dels recanvis de filtres.
3) Aigua envasada en PET	267 €/m ³	Es considera un PVP mitjà
4) Aigua envasada en vidre	600 €/m ³	Es considera un PVP mitjà

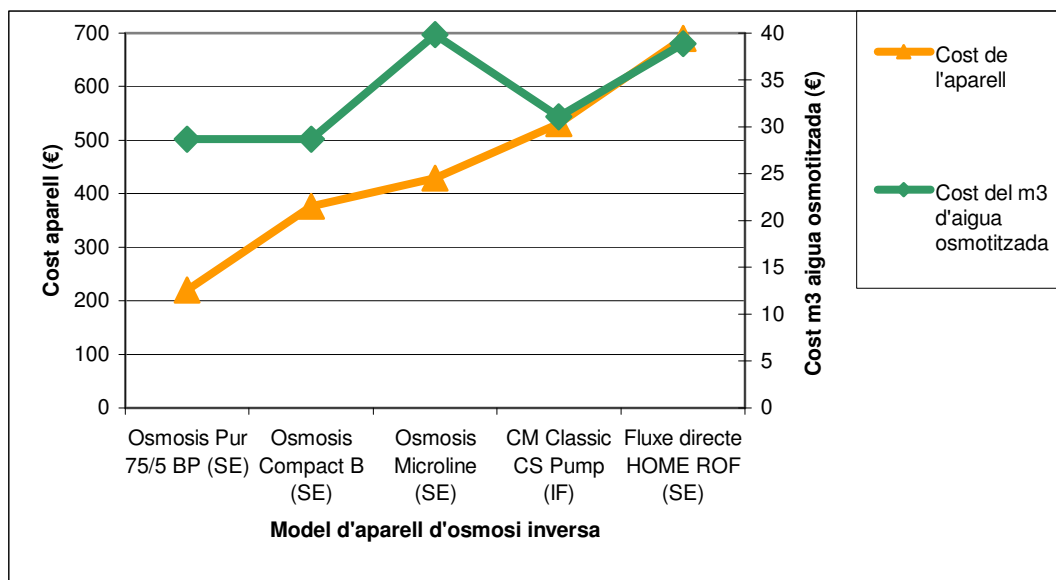


Figura 5. Comparació entre els preus d'aparells d'osmosi inversa i el preu del m3 d'aigua osmotitzada

5. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS

5.1. Conclusions

En aquest projecte de recerca s'ha realitzat un ACV del consum d'aigua potable, considerant les alternatives de consumir aigua de l'aixeta, aigua tractada amb osmosi inversa a la potabilitzadora, aigua tractada amb aparells d'osmosi inversa domèstics, aigua envasada en PET i aigua envasada en vidre; amb dades procedents d'instal·lacions existents, fabricants d'aparells d'osmosi inversa domèstics i dades teòriques de la bibliografia. Per tal de realitzar l'ACV s'ha emprat el software SimaPro 7.1 i el mètode d'avaluació de l'impacte CML 2 baseline 2000.

S'han avaluat les categories d'impacte d'esgotament de recursos abiòtics, acidificació, eutrofització, destrucció de la capa d'ozó, escalfament global, toxicitat humana, ecotoxicitat de l'aigua dolça, ecotoxicitat de l'aigua de mar, ecotoxicitat terrestre i formació d'oxidants fotoquímics.

A banda dels efectes ambientals derivats del consum d'aigua, s'han analitzat els costos econòmics de les diferents alternatives de consum d'aigua des del punt de vista del consumidor.

Les principals conclusions que es poden extreure de l'estudi són:

- Els majors impactes ambientals es donen per a l'alternativa de consum d'aigua envasada, especialment en vidre.
- El consum d'aigua de l'aixeta és el que genera els mínims impactes ambientals i aquests impactes són deguts principalment al consum energètic de la potabilitzadora i a la producció de substàncies químiques que s'empren per al tractament de l'aigua, com el sulfat d'alumini per a la coagulació i l'ozó per a la desinfecció.
- Quan només es compara l'aigua tractada (aigua de l'aixeta, aigua tractada amb osmosi inversa a l'ETAP i aigua tractada amb aparells d'osmosi inversa domèstics), el major impacte ambiental es dona per a l'alternativa d'aigua tractada amb osmosi inversa a l'ETAP perquè té un major consum energètic.
- Quan s'estudia l'alternativa de consumir aigua tractada amb aparells d'osmosi inversa domèstics, es nota l'elevada influència de la qualitat dels aparells a l'impacte ambiental, de forma que els aparells de baixa qualitat, que tenen un elevat consum energètic i rebuig d'aigua, farien augmentar els impactes considerablement.
- Quan només es compara l'aigua envasada (en PET o en vidre), els majors impactes ambientals es donen per l'aigua envasada en vidre, ja que té un major consum de matèries primeres i s'afegeix el consum de sosa càustica per tal de netejar els envasos reutilitzables.
- El reciclatge dels envasos de PET i vidre redueix els impactes totals, essent major aquesta reducció quant major sigui el percentatge d'envasos que es recicla.
- L'alternativa de consum d'aigua més adient, des d'un punt de vista dels impactes ambientals, és la d'aigua de l'aixeta seguida per la d'aigua tractada amb aparells d'osmosi inversa domèstics d'alta qualitat; essent l'alternativa de consum d'aigua envasada, principalment en vidre, la menys adequada.
- Quan s'avaluen els aspectes econòmics, la millor alternativa per als consumidors seria la de consumir aigua de l'aixeta (0,95 €/m³) o bé aigua tractada amb osmosi inversa a l'ETAP (1,20 €/m³), seguit del consum d'aigua tractada amb aparells d'osmosi inversa domèstics (31 €/m³). El consum d'aigua envasada és el que suposa un major cost econòmic (267 €/m³ i 600 €/m³ per a l'aigua envasada en PET i vidre, respectivament).

5.2. Recomanacions

Les recomanacions que es desprenen d'aquest ACV són:

- Completar l'estudi amb les parts del cicle de vida i els processos que s'han exclòs (fases de construcció i desmantellament de les instal·lacions, fabricació de maquinària, etc.) degut a limitacions pràctiques; i aconseguir dades més acurades de consum energètic de l'aigua envasada en vidre, de consum de material granular per al tractament de l'aigua de l'aixeta, etc.

- D'acord amb els resultats de l'ACV, caldria potenciar el consum de l'aigua de l'aixeta o bé de l'aigua tractada amb osmosi inversa. Amb aquest objectiu, seria interessant valorar la possibilitat de donar petites subvencions a la població per tal d'incentivar la col·locació d'aparells d'osmosi inversa a les llars, així es milloraria la qualitat organolèptica de l'aigua i molt probablement es reduiria el consum d'aigua envasada, amb una reducció molt important dels impactes ambientals associats i dels residus generats.
- Divulgar els resultats d'aquest ACV a la població en general per tal de donar a conèixer les conseqüències ambientals del consum d'aigua envasada, en comparació amb altres alternatives de consum d'aigua.
- Conscienciar a la població de la importància de la separació dels envasos per al seu posterior reciclatge, per tal de reduir els impactes derivats del consum d'aigua envasada.
- Divulgar a la població l'estudi econòmic que presenta l'alternativa de consum d'aigua de l'aixeta com a més econòmica, seguida per les alternatives d'aigua tractada amb osmosi inversa, ja que probablement aquest sigui un factor important a tenir en compte per la població en general a l'hora de consumir un tipus o altre d'aigua.

6. REFERÈNCIES

Barrios, R., Siebel, M., Van der Helm, A., Bosklopper, K. and Gijzen, H. (2006), Environmental and financial life cycle impact assessment of drinking water production at Waternet. *Journal of Cleaner Production*, 16, 471-476.

Bonton, A., Bouchard, C., Barbeau, B. and Jedrzejak, S. (2012), Comparative life cycle assessment of water treatment plants. *Desalination*, 284, 42-54.

Bravo, L. (2009), *Anàlisi del Cicle de Vida de l'EDAR del Baix Llobregat*. Tesina, Universitat Politècnica de Catalunya.

Directiva Marc de l'Aigua (DMA): Directiva 2000/60/CE del Parlament Europeu i del consell de 23 d'octubre de 2000.

Fullana, P. i Puig, R. (1997), *Anàlisi del Cicle de Vida*. Rubes editorial, Barcelona.

Lagiogia, G., Calabrò, Grazia. and Amicarelli, V. (2012), Empirical study of the environmental management of Italy's drinking water supply. *Resources, Conservation and Recycling*, 60, 119-130.

Mohapatra, P.K., Siebel, M.A., Gijzen H.J., Van der Hoek, J.P. and Groot, C.A. (2002), Improving eco-efficiency of Amsterdam water supply: a LCA approach. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, 51 (4), 217-227.

Norma Tècnica-Sanitària 2003: RD 140/2003 de 7 de febrer pel qual s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà, BOE número 45.

Observatorio de la Electricidad WWF España, informe anual del 2011.

Pré Consultants (2009), *Impact Assessment Methods*. [\[http://www.pre.nl/simapro/impact_assesment_methods_LCA.htm\]](http://www.pre.nl/simapro/impact_assesment_methods_LCA.htm). Data de consulta: maig 2012.

RD 1074/2002 de 18 d'octubre pel qual es regula el procés d'elaboració, circulació i comerç d'aigües de beguda envasades, BOE número 259.

UNE-EN ISO 14040. *Gestión Ambiental, Análisis del Ciclo de vida y Principios y Marco de referencia*. Comité técnico AEN/CTN 150 Gestión Medioambiental. (2006), AENOR, Madrid.

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

Vázquez, N. (2010), *Anàlisi del Cicle de Vida del tractament de fangs d'EDAR*. Tesina, Universitat Politècnica de Catalunya.

Vince, F., Aoustin, E., Bréant, P. and Marechal, F. (2008), LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. *Desalination*, 220, 37-56.

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/lilibre_acv.pdf]

Zhou, J., Chang, V. W-C. and Fane, A.G. (2011), Environmental life cycle assessment of reverse osmosis desalination: The influence of different life cycle impact assessment methods on the characterization results. *Desalination*, 283, 227-236.

Pàgines web:

- <http://www.ecologia.cat> data de consulta: maig 2012.
- <http://www.wikipedia.com> data de consulta: abril 2012.
- <http://www.ecoterra.org> col·lecció de quaderns d'educació ambiental PERSPECTIVA AMBIENTAL, en concret s'ha consultat el quadern PERSPECTIVA AMBIENTAL: Aigua envasada, redactat per Verònica Serrano i Jordi Miralles. Data de consulta: maig 2012.
- <http://www.ionfilter.com> Data de consulta: maig 2012
- www.salvadorescoda.com catàleg tècnic "Tratamiento de Agua Salvador Escoda" data de consulta: abril 2012
- <http://www.prtr-es.es/data/images/la%20industria%20cervecera-74f8271308c1b002.pdf>, projecte informatiu "Mejores técnicas disponibles en el sector cervecero", realitzat per AINIA (Instituto tecnológico agroalimentario) i CE (cerveceros de España)

7. AGRAÏMENTS

Aquest treball s'ha dut a terme gràcies a les convocatòria d'ajuts a la recerca en prevenció de residus del curs 2011 – 2012 del departament de prevenció de residus de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB).

M'agradaria expressar els meus agraïments a la Ivet Ferrer i Martí per orientar-me, fer el seguiment del desenvolupament d'aquest projecte de recerca i revisar els resultats obtinguts al SimaPro cada cop que em sorgien dubtes. A l'Erasmo Cadena per ajudar-me amb el SimaPro, al David Igual per resoldre tots els meus dubtes sobre els aparells d'osmosi inversa domèstics i el seu funcionament i facilitar-me dades dels aparells, a l'Emi González per facilitar-me dades de consums d'aigua envasada que no hauria pogut trobar de cap altra forma, a l'Albert Torras de l'AMB per aconsellar-me en cada reunió i ajudar-me a aconseguir dades i a l'Esther Suàrez de l'AMB per ajudar-me a aconseguir les dades necessàries per al desenvolupament del projecte, a l'empresa AGBAR per facilitar-me aquestes dades, i a tots els meus companys de projectes de recerca per escoltar-me i aconsellar-me en cada reunió.