



# Análisis del ciclo de vida de la fase de construcción de la red de distribución de agua potable de Girona, Salt y Sarrià de Ter

**Montserrat Masdeu i Font** Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental (LEQUIA), Institut de Medi Ambient, Universitat de Girona  
**Sadurní Morera** Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental (LEQUIA), Institut de Medi Ambient, Universitat de Girona  
**Clàudia Dragoste** Aigües de Girona, Salt i Sarrià de Ter  
**Xavier Ballell** Aigües de Girona, Salt i Sarrià de Ter  
**Joaquim Comas** Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental (LEQUIA), Institut de Medi Ambient, Universitat de Girona

El uso del análisis del ciclo de vida (ACV) se aplica en este trabajo para la evaluación del impacto ambiental de una parte del ciclo urbano del agua (CUA), en concreto de la fase de construcción de la red de distribución de agua de Girona, Salt y Sarrià de Ter. A partir de un exhaustivo inventario de la red y la posterior cuantificación de los impactos ambientales mediante el software Simapro y la base de datos Ecoinvent v.3, se ha puesto de relieve la importancia de las tuberías como principal responsable de los impactos y, en concreto, la obra civil para su instalación. Así mismo, se han evidenciado las diferencias entre los materiales de menor impacto en la red, PVC y polietileno (PE), y los de mayor impacto, el acero inoxidable (INOX) y la fundición dúctil (FD).

#### Palabras clave

Análisis de ciclo de vida, abastecimiento, construcción, impacto ambiental.

#### ***Life cycle assesment of the construction of the Girona, Sant and Sarria's (Spain) water distribution network***

*Life cycle assessment (LCA) study has been performed to evaluate the environmental impact of a part of the water urban cycle (UWC), specifically, the construction of the Girona, Salt and Sarria's (Spain) water distribution network. From an exhausting network inventory and posterior quantifying environmental impact through Simapro software and the data base Ecoinvent v.3, it has been highlighted the importance of the pipes as the main responsible of the impacts, and specifically, its civil work installation. On the same hand, differences between materials of lesser impact to the network, polyvinyl chloride (PVC) and polyethylene (PE), have become evident, while stainless steel (INOX) and the ductile iron (FD) as the major impacting ones.*

#### **Keywords**

*Life cycle assesment, water distribution, construction, environmental impact.*



## 1. Introducción

Las actuales redes de abastecimiento de aguas potables se desarrollaron a partir de la segunda mitad del siglo XIX. Resueltos los principales problemas técnicos y económicos de abastecimiento, tratamiento y distribución de agua en el primer mundo, la preocupación se centra ahora en sus impactos ambientales.

La inquietud por el clima y el medio ambiente [1-3] ha propiciado el incremento del número de estudios sobre los impactos ambientales de las diferentes actuaciones del hombre y el desarrollo de métodos para comprender mejor y disminuir estos impactos. En este contexto se desarrollan, ya a finales de los años 60 del siglo pasado, los primeros estudios de análisis del ciclo de vida (ACV), una de las técnicas más desarrolladas de evaluación ambiental.

El ACV evalúa los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto o proceso, desde la extracción de las materias primas y la generación de

la energía, pasando por la producción o construcción, utilización u operación, tratamiento final, desmantelamiento o reciclado, hasta su disposición final ('de la cuna a la tumba').

En este tipo de estudios se delimitan los límites del sistema a estudiar y su nivel de detalle, se realiza un registro de los datos de entrada/salida (materia y energía) en relación al sistema estudiado, se traducen los datos del inventario a impactos ambientales y, finalmente, se discuten los resultados obtenidos en la fase anterior, como base para las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos [4].

En el campo del tratamiento de las aguas residuales, los primeros estudios utilizando la metodología del ACV se realizaron ya en la década de los años 90 [5]. Mientras, en el campo del tratamiento de aguas residuales, los estudios de ACV que evalúan diferentes opciones, ya sea en el tratamiento del agua como del fango, son más numerosos [5], en la

fase de distribución de agua potable el número de estudios son muchos menos [6-7] y, concretamente, en la fase de construcción son prácticamente inexistentes.

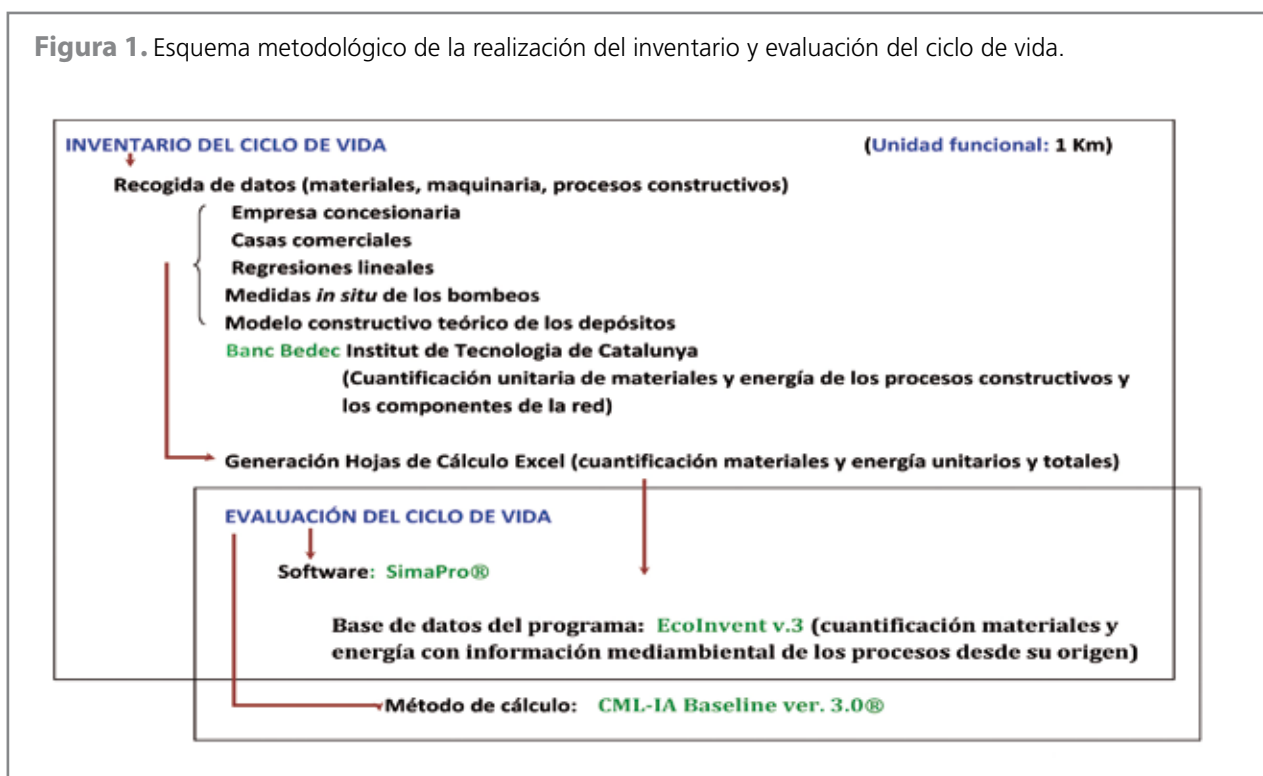
El presente trabajo, enmarcado en otro más amplio de estudio de los impactos ambientales de todo el ciclo urbano del agua, quiere, pues, llenar este vacío existente y evaluar los impactos ambientales de la fase constructiva de una red de distribución de agua potable, en concreto, la red de Girona, Salt y Sarrià de Ter.

## 2. Objetivos, metodología y alcance

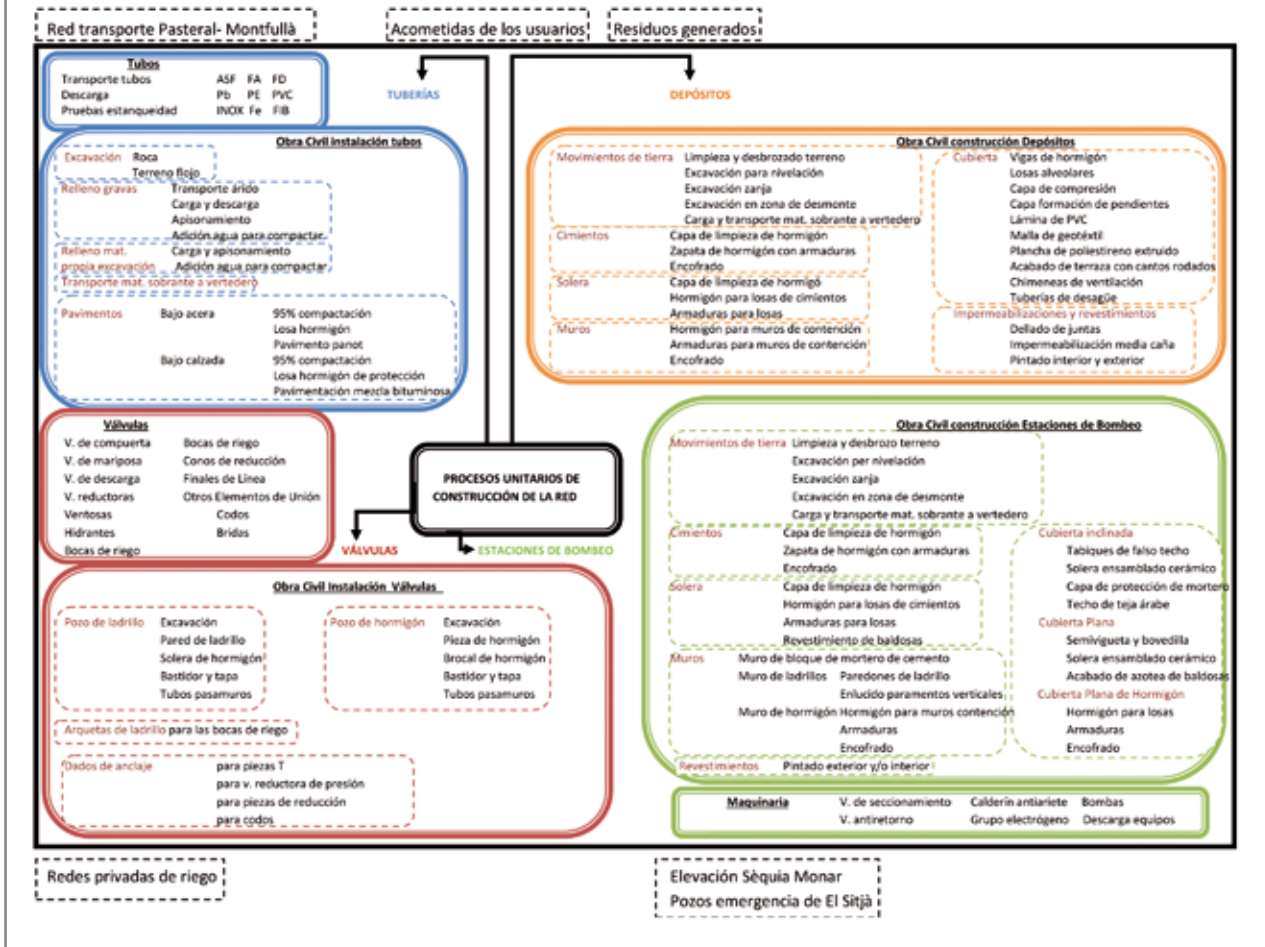
### 2.1. Objetivos

El principal objetivo del presente trabajo es la evaluación de los impactos ambientales de la construcción de la red de agua potable de Girona, Salt y Sarrià de Ter, tanto de la obra civil y equipos, como de la aportación de los diversos componentes de la red al impacto total, con especial hincapié en el caso de las tuberías.

**Figura 1.** Esquema metodológico de la realización del inventario y evaluación del ciclo de vida.



**Figura 2.** Límites del inventario del ciclo de vida de la red de distribución de agua de Girona, Salt y Sarrià de Ter.



## 2.2. Metodología del ACV

El método de ACV utilizado para evaluar los impactos ambientales se desarrolla en la normativa ISO 14040-14044:2006. El software usado ha sido el Simapro 8.0.0, utilizando los datos existentes en la base de datos Ecolnvent v.3. El método de cálculo utilizado, CML-IA Baseline ver. 3.0./EU25, incluye 11 categorías de impacto de punto medio (*midpoint impact categories*): calentamiento global (GWP100), eutrofización, agotamiento abiótico, agotamiento abiótico de los combustibles fósiles, acidificación, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana y ecotoxicidad marina, de agua dulce y terrestre, y la oxidación fotoquímica (Figura 1).

## 2.3. Unidad funcional

La unidad funcional utilizada ha sido 1 km de red, considerando que una unidad de dimensión define mejor las diferencias entre redes en su fase de construcción.

## 2.4. Procedencia y calidad de los datos

Los datos para realizar el inventario del estudio fueron facilitados por los servicios técnicos de la empresa explotadora de la red: Aigües de Girona, Salt i Sarrià de Ter. Así mismo, se hicieron mediciones *in situ* en el caso de los bombeos.

El modelo constructivo teórico asumido para el diseño de los depósitos ha sido extraído de un proyecto de construcción de un depósito de agua potable [8], con modificacio-

nes consensuadas con técnicos de la ingeniería Inypsa [9].

Los procesos constructivos, o sea, la cantidad de material para cada solución constructiva, así como el tipo de maquinaria necesaria y sus consumos, han sido obtenidos de la base de datos del Institut de Tecnologia de Catalunya (Banc Bedec) [10]. Para los elementos con un diámetro no existente en la base de datos se han obtenido los valores a partir de regresiones lineales de los diámetros disponibles. En los casos que la base de datos no disponía de la información, los datos se han extraído de casas comerciales [12,13,14,15,16, 18].

La información medioambiental relacionada con los procesos involucrados de los materiales, energía y



transporte se ha extraído de la base de datos Ecoinvent 3.0 [11].

### 2.5. Límites del sistema

Los límites establecidos de la red analizada pueden observarse en la **Figura 2**.

En el estudio del sistema se ha contemplado la aportación de los materiales a los impactos.

No se han tenido en cuenta los residuos generados en la construcción de la red, exceptuando los materiales sobrantes de las excavaciones, ni su desmantelamiento, solo su construcción. En cuanto al transporte de material se ha calculado considerando una distancia de 20 km realizada con un camión capaz de transportar entre 16 y 32 toneladas.

### 3. Inventario del ciclo de vida

Para realizar el inventario se ha subdividido la red en cuatro grandes grupos: las tuberías, las válvulas, los depósitos y las estaciones de bombeo (ver **Figura 2**).

#### 3.1. Tuberías

La red de tuberías analizada tiene una longitud de 447,63 km, siendo los principales materiales de los tubos: la fundición dúctil (FD), el hierro fundido (Fe), el fibrocemento (FIB), el acero inoxidable (INOX), el plomo (Pb), el polietileno (PE) de baja densidad (PEBD) hasta diámetros de 90 mm y de alta densidad de 100 a 250 mm de diámetro, el policloruro de vinilo (PVC), el hormigón armado (FA) y el acero asfaltado (ASF). La relación de materiales, diámetros y

longitudes de los tubos considerados se puede apreciar en la **Tabla 1**.

Existe una diferencia de 5,48 km entre los km total reales y los considerados, que corresponden a tuberías de FIB de diámetros inferiores a 80 mm, que se han contabilizado dentro de este diámetro, manteniendo los kg de material total y, por tanto, se han disminuido los km de longitud. En el estudio se han añadido estos km de obra civil correspondientes a la longitud de tubería que falta.

Los volúmenes de las diferentes partes de las zanjas, según diámetro de la tubería, se han calculado según las especificaciones del Listado de Fichas de Materiales Homologados de la empresa concesionaria del servicio [17]. En todos los casos las

**Tabla 1.** Características de las tuberías: diámetros, materiales y longitudes.

Diámetro (mm)	ASF (km)	FA (km)	FD (km)	Pb (km)	PE (km)	PVC (km)	INOX (km)	FE (km)	FIB (km)	Total	
										km	%
20				0,11739						0,11739	0,027
25				0,0025						0,0025	0,001
32					5,92732	1,208				7,13532	1,614
40						0,42334		0,0542		0,47376	0,107
50						1,08147		0,286		1,36747	0,309
63					50,78481	0,96832				51,75313	11,705
75					1,01962	1,04988		0,05177		2,12127	0,480
80			0,15721						32,40177	32,55898	7,364
90					5,30063	6,62059				11,92122	2,696
100			5,77822				0,02004	0,3953	63,50052	69,68931	15,762
110					108,3978	0,5912				108,989	24,650
125			0,04709		22,18678	2,75519		0,00219	2,62847	27,61972	6,247
140					0,19256	1,31806				1,51062	0,342
150	0,17458		18,13838				0,01519	0,12719	20,37087	38,82621	8,781
160					3,314989					3,31498	0,750
200			19,36281		0,40386	0,85797	0,11526	0,15957	12,32371	33,22318	7,514
225					0,05536					0,05536	0,013
250			8,08013		0,04998	0,24483	0,10743	0,10945	5,61249	14,20431	3,213
300			3,02889				0,0177	0,10993	3,51095	6,66747	1,508
350			1,81837				0,00155		1,38603	3,19795	0,723
400			8,91579				0,01298	0,031	3,9582	12,91797	2,922
450			0,48248						0,03661	0,51909	0,117
500			1,32924				0,0025		2,01725	3,34899	0,757
600			0,0772				0,0025		1,60468	1,68438	0,381
700		3,91498	3,26236				0,30835		1,44051	8,9262	2,019
<b>Total %</b>	<b>0,17458 0,039</b>	<b>3,91498 0,885</b>	<b>70,47017 15,938</b>	<b>0,11989 0,027</b>	<b>197,6337 44,699</b>	<b>17,11885 3,872</b>	<b>0,6035 0,136</b>	<b>1,31805 0,298</b>	<b>150,7921 34,105</b>	<b>442,1458</b>	<b>100,00</b>

paredes de las zanjas se han considerado verticales. Las medidas de las zanjas de polietileno (PE) se han utilizado también para las de PVC y de plomo. En el resto de materiales, las medidas de la zanja utilizadas han sido las de fundición (FD).

El 75% de las zanjas se han estimado construidas bajo aceras y el 25% restante, en calzadas con pavimento de hormigón. La profundidad media escogida de la red ha sido 1 m. La excavación se ha considerado en un 94,4% en terreno flojo y un 5,6% en roca.

Se han tenido en cuenta las operaciones de obra civil especificadas en la **Figura 2**.

### 3.2. Válvulas

Dentro del concepto de válvulas se han incluido todos los elementos de

la **Tabla 2** que hay instalados en la red.

Estos elementos se encuentran enterrados, en pozos de ladrillo o de hormigón, o en arquetas especiales. Los pozos se han adaptado según los modelos exigidos por la empresa concesionaria en su Listado de Fichas de Materiales Homologados [17]. Los materiales de construcción de los pozos, y según información facilitada por la empresa concesionaria, se ha estimado en un 65% de ladrillo y un 35% de hormigón prefabricado.

En el caso del pozo de ladrillo se ha tenido en cuenta su excavación, la pared circular de ladrillo, una solera de hormigón, bastidor y tapa apoyada y los tubos pasamuros para las tuberías de conducción. El pozo de hormigón está constituido por

**Tabla 2.** Relación de elementos del apartado válvulas y las unidades consideradas.

Elemento	Unidades
Válvulas de compuerta	5.810
Válvulas de mariposa	219
Válvulas de descarga	218
Válvulas reductoras	9
Ventosas	244
Hidrantes	1.450
Bocas de riego	3.291
Conos de reducción	1.024
Finales de línea	2.319
Otros elementos de unión: codos 45° codos 90° bridas	2.018 1.806 2.902
<b>Total</b>	<b>21.310</b>

**Tabla 3.** Diámetros y número de unidades de diversos elementos del subgrupo válvulas.

Diámetros (mm)	Válvulas compuerta		Válvulas mariposa	Válvulas de descarga	Válvulas reductoras	Ventosas		Finales de línea
	En pozos	Enterradas	En pozos	En pozos	En pozos	Simples	Dobles	Bridas ciegas
20						2		
25						44		
40	279	0				10		
50	992	9		151		177		
60								794
65	84	3						572
80	450	3	1		3		2	63
100	2.700	159	8	52			9	702
125	229		2					61
150	492	14	8					66
200	314	13	11	10	5			48
250	35		71	5				7
300	13	1	38					
350			13		1			
400	3		40					6
450			3					
500	5		8					
600	5		4					
700	7		12					
<b>Total</b>	<b>5.608</b>	<b>212</b>	<b>219</b>	<b>218</b>	<b>9</b>	<b>233</b>	<b>11</b>	<b>2.319</b>
								Enterrados
Pozos de ladrillo	3.649		142	142	6	158	7	
Pozos de hormigón	1.965		77	76	3	84	4	
Dado anclaje	Piezas en T		Piezas en T	Piezas en T	Para v. red.	Piezas en T		



una pieza circular y brocal de hormigón prefabricado, solera de hormigón, bastidor y tapa apoyada y los pasamuros correspondientes. En los elementos que es necesario incorporarlos, se han añadido los datos de anclaje de hormigón según tipología y diámetro adecuado en cada caso (**Tabla 3**).

### 3.3. Depósitos

La red analizada consta de 12 depósitos de almacenaje de diferentes volúmenes de agua, de forma circular o rectangular, de construcción superficial, semienterrado o enterrado y de excavación en roca o terreno compacto.

Los materiales necesarios para la construcción de los depósitos se han calculado en base a un modelo constructivo igual para todos, basado en una construcción moderna obviando los métodos constructivos de los depósitos más antiguos (principios del siglo XX). Las mediciones para cada operación de obra civil varían en función de la medida y forma de cada depósito. No se ha incorporado al modelo ninguna columna de soporte de la cubierta.

En el cálculo se han tenido en cuenta las siguientes diferentes consideraciones:

- En la superficie de limpieza y desbrozada del terreno se ha incrementado 2 m por lado sobre la superficie del depósito.

- La superficie de nivelación se ha considerado la del depósito y 1 m de profundidad.

- La altura de los cimientos considerada ha sido de 0,7 m y una anchura de 1,5 m: la capa de limpieza y nivelamiento de 15 cm de hormigón HL-150/P/20, el zapato de hormigón HA-25/B/20/IIa, con armaduras (100 kg/m<sup>3</sup> de hormigón), encofrado con tablón de madera.

- El grueso de la solera se ha estimado en todos los casos en 0,45 m, compuesta por 15 cm de grueso de capa de limpieza y nivelamiento de hormigón HL-150/P/20, y 30 cm de hormigón para losas de cimientos HA-25/B/20/IIa. La armadura considerada para losas ha sido AP500 T (100 kg/m<sup>3</sup> de hormigón).

- La anchura de los muros es en todos los casos de 0,4 m y los materiales utilizados han sido: hormigón para muros de contención HA-30/B/20/IIa, armadura para muros de contención AP500 S (100 kg/m<sup>3</sup> de hormigón), encofrado y desencofrado de las dos caras del muro.

- La cubierta se ha diseñado en base a unas vigas prefabricadas de hormigón donde se asientan unas losas alveolares de hormigón. Encima se ha dispuesto una cubierta invertida no transitable.

- En las impermeabilizaciones y revestimientos se han considerado las siguientes partidas: Sellado de juntas con perfil hidroexpansivo; impermeabilización de media caña con mortero impermeabilizante entre la solera y los muros; pintado de los muros por la parte interior con resinas acrílicas apropiadas y pintado de los muros exteriores con pintura al silicato de potasa.

### 3.4. Estaciones de bombeo

Dentro de este grupo se han incorporado las doce estaciones de elevación existentes, así como las casetas de válvulas de los depósitos y arquetas de hormigón que albergan válvulas, ya sean al lado de una estación de bombeo o de un depósito.

Los apartados de movimientos de tierra, cimientos y solera incluyen los mismos procesos que en el caso de los depósitos. En cuanto a los muros, se han considerado tres tipologías diferentes de muros para poder adaptarlos a la realidad constructiva

en cada caso: muro de bloque de mortero de cemento agujereado, muros de ladrillo y muros de hormigón. En este último caso la anchura considerada ha sido de 0,3 m y los procesos constructivos los mismos que en el caso de los muros de depósitos.

Se han definido tres tipos diferentes de cubiertas para adaptarlas a la realidad constructiva: cubierta inclinada, cubierta plana y cubierta plana de hormigón.

El revestimiento considerado ha sido el pintado exterior/interior de los edificios con pintura al silicato de potasa.

En el apartado de maquinaria se han consignado los siguientes elementos: válvulas de seccionamiento de las tuberías de impulsión, de fundición para diámetros > 100 mm y de bronce las menores de 100 mm; válvulas antirretorno; calderín antiarriete; grupo electrógeno; bombas y camión grúa de descarga de los diferentes elementos de peso superior a 70 kg.

La totalidad de los materiales, extraídos del Banc Bedec, y considerados en la construcción de la red, se pueden apreciar en la **Tabla 4**.

## 4. Evaluación de los impactos e interpretación del ACV

### 4.1. Toda la red

Los resultados de los diferentes impactos ambientales analizados de toda la red nos demuestran que las tuberías son el componente de la red con un mayor impacto en todas las categorías estudiadas, representando una media del 75% en muchas de ellas, tal y como ya se destacaba en [19]. Las válvulas y los depósitos contribuyen de manera parecida con un 11-12%, exceptuando la categoría de agotamiento de la capa de ozono, en la cual los

**Tabla 4.** Listado de materiales (Banc Bedec) considerados en la construcción de la red.

Materiales	Medida	Tuberías	Válvulas	Depósitos	Estaciones bombeo	Total red
Agua	kg/km	1,16E+05	5,31E+03	2,04E+03	2,46E+02	1,24E+05
Árido	kg/km	7,23E+05	4,63E+04	2,33E+04	2,96E+03	7,95E+05
Árido reciclado	kg/km			4,51E+02	4,11E+02	8,62E+02
Cemento	kg/km	3,02E+04	7,45E+03	3,30E+03		4,09E+04
Cal	kg/km		1,18E+01		1,24E+01	2,42E+01
Acero (armaduras)	kg/km	2,28E+03	3,91E+03	1,13E+03	1,26E+02	7,44E+03
Acero recocido (armaduras)	kg/km	7,88E+00	3,73E+01	7,35E-01	4,69E-02	4,60E+01
Acero galvanizado (encofrado)	kg/km		3,02E+01	2,05E+00	8,06E-01	3,31E+01
Acero conformado (viga)	kg/km			1,61E+01		1,61E+01
Acero inoxidable	kg/km	1,12E+02	7,31E+01		8,73E-01	1,86E+02
Madera (encofrada)	kg/km			3,16E+01	5,13E+00	3,67E+01
Aceite sintético	kg/km			3,98E-01	8,21E-02	4,80E-01
Hormigón prefabricado	kg/km	3,05E+03	6,02E+03	6,38E+03	3,14E+00	1,55E+04
Mortero prefabricado	kg/km	3,71E+04			4,66E+01	3,72E+04
Mortero de cal	kg/km		4,23E+02			4,23E+02
Cerámica	kg/km		1,90E+04	1,35E+01	7,29E+01	1,91E+04
Plomo	kg/km	1,21E+00				1,21E+00
Hierro	kg/km	4,95E+01				4,95E+01
Asfalto	kg/km	4,29E-02				4,29E-02
Fundición	kg/km	8,91E+03	2,44E+03	4,90E+00	1,49E+01	1,14E+04
Cobre	kg/km		3,45E+00			3,45E+00
Acero negro	kg/km	5,28E+00				5,28E+00
Bronce	kg/km		2,24E-01		4,33E-01	6,57E-01
Betún asfáltico	kg/km	1,42E+03				1,42E+03
Polietileno	kg/km	9,09E+02	4,71E+00			9,14E+02
Amianto	kg/km	6,43E+02	5,47E+00			6,49E+02
Goma elastomérica	kg/km	2,44E+01	4,53E+00			2,44E+01
Goma termoplástica	kg/km		3,29E+00			4,53E+00
Goma elástica	kg/km		1,17E+00			3,29E+00
Policarbonato	kg/km					1,17E+00
Aditivo escumante (para hormigón)	kg/km			1,58E+00		1,58E+00
Lana de vidrio	kg/km		2,16E+00	8,00E-01		2,96E+00
PVC	kg/km	7,81E+01	1,38E+01	2,80E+01		1,20E+02
Polipropileno (geotextil)	kg/km			1,83E+00		1,83E+00
Poliestireno extruido (plancha)	kg/km			1,82E+01		1,82E+01
Poliéster reforzado	kg/km		2,34E+00			2,34E+00
EPDM	kg/km		5,67E+00		7,18E-02	5,74E+00
Neopreno (lámina)	kg/km			3,95E+00		3,95E+00
Adhesivo de caucho sintético	kg/km			4,38E-04		4,38E-04
Caucho asfáltico	kg/km			7,35E-06		7,35E-06
Caucho sintético	kg/km		6,43E-03		1,96E+00	1,97E+00
Caucho reciclado	kg/km	2,85E+02				2,85E+02
Pintura al silicato	kg/km			1,11E+00	2,29E-01	1,33E+00
Esmalte sintético	kg/km			5,08E-01	9,52E-02	6,03E-01
Resinas epoxi	kg/km	4,29E-02	9,72E-01	8,33E-01		1,85E+00
Alcohol bencílico	kg/km			4,19E-01		4,19E-01
Bisfenol-a-epiclorhidrina	kg/km			2,56E-01		2,56E-01
1,6,diamina-trimetilhexano	kg/km			1,28E-01		1,28E-01
3 amino-3,5,5 trimetilciclohexilamina	kg/km			7,26E-02		7,26E-02
Aditivo mortero	kg/km			1,23E-04		1,23E-04
Gasoil	MJ/kg	2,23E+05	1,56E+04	1,03E+04	1,14E+03	2,50E+05
E. Eléctrica	MJ/kg	6,34E+03	2,15E+02	1,40E+02	3,88E-01	6,70+03

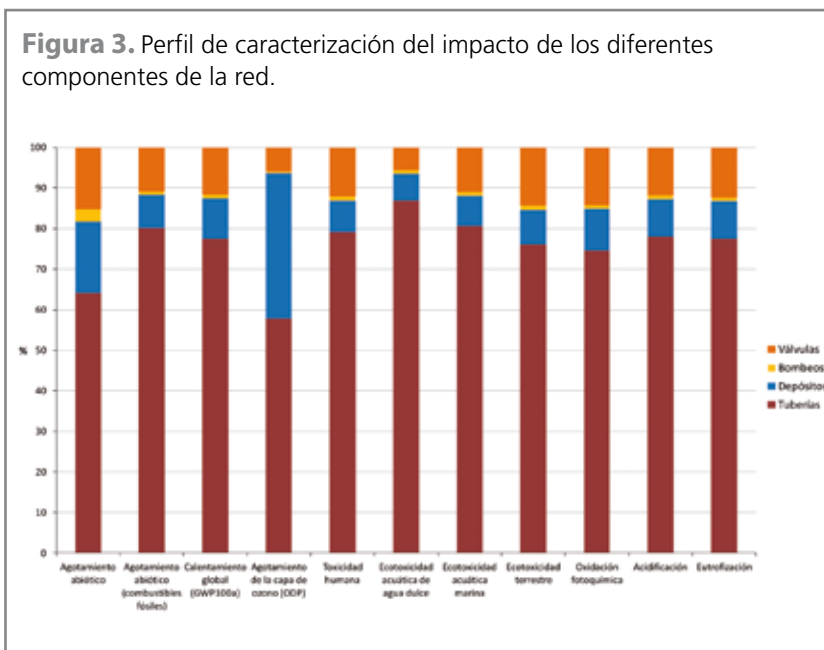


depósitos representan un 36% del impacto. Finalmente, las estaciones de bombeo contribuyen solo con un 1% aproximadamente en la mayoría de categorías (Figura 3).

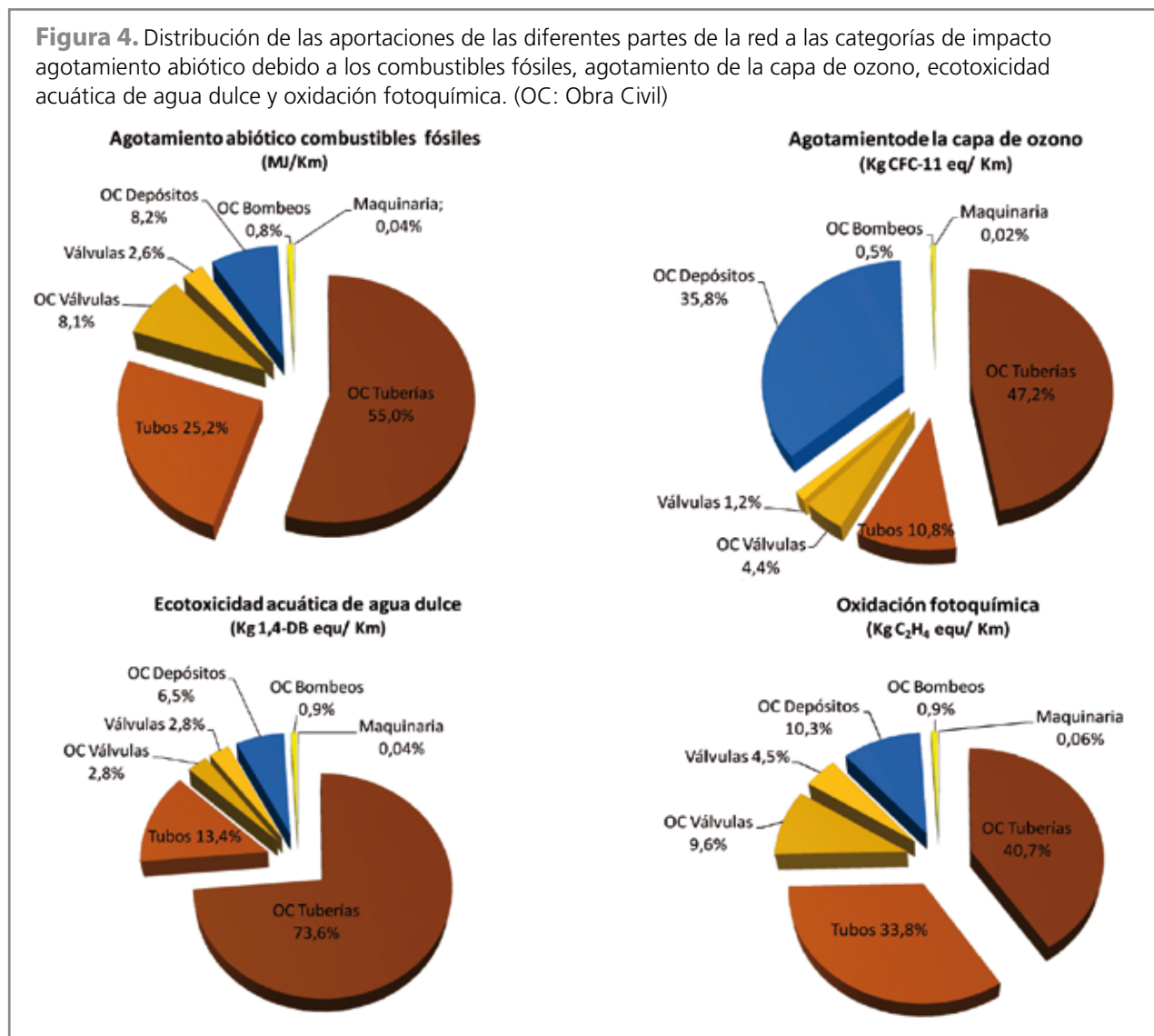
Analizando individualmente cada categoría de impacto se observa cómo la obra civil de instalación de los tubos representa alrededor del 50% o más del impacto en casi todas las categorías de impacto. Destacan las categorías de ecotoxicidades acuáticas, responsable del 73% en el caso de aguas dulces y del 61% en el de aguas marinas (Figura 4).

Los materiales de los tubos le siguen en importancia con una media del 20%, resaltando en la categoría

**Figura 3.** Perfil de caracterización del impacto de los diferentes componentes de la red.



**Figura 4.** Distribución de las aportaciones de las diferentes partes de la red a las categorías de impacto agotamiento abiótico debido a los combustibles fósiles, agotamiento de la capa de ozono, ecotoxicidad acuática de agua dulce y oxidación fotoquímica. (OC: Obra Civil)





de oxidación fotoquímica con valores del 33% del total del impacto. A continuación, y en otro rango, se deben incluir la obra civil de los depósitos y de las válvulas con valores entre el 8 y 9% del total de los impactos en muchas de las categorías. Resaltar la importancia de la obra civil de los depósitos en la categoría de agotamiento de la capa de ozono, responsable del 36% del total de ese impacto debido al efecto del poliuretano inyectado de la cubierta invertida.

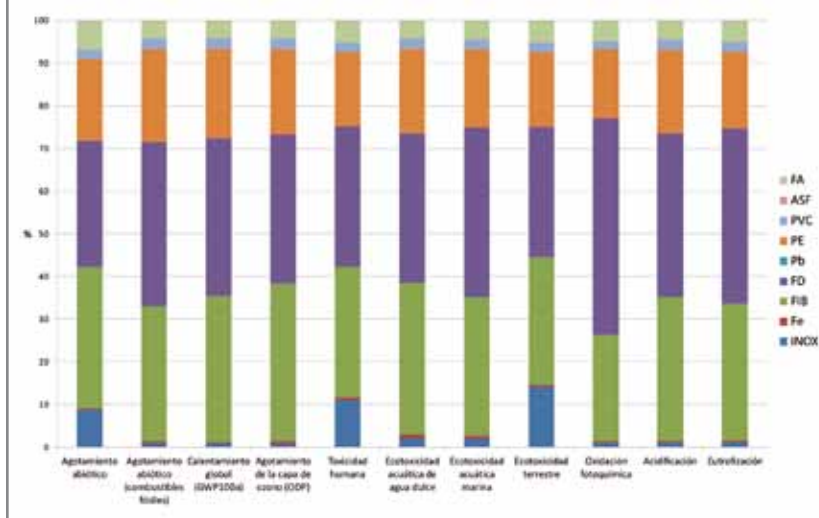
El impacto de las válvulas y, en menor medida aún, de la obra civil de los bombeos y su maquinaria, es inferior al 5% en casi todas las categorías de impacto. En el caso de las válvulas destacan en las categorías de agotamiento abiótico con un 9,4% del total del impacto y en la toxicidad humana y terrestre con valores alrededor del 8%.

#### 4.2. Tuberías

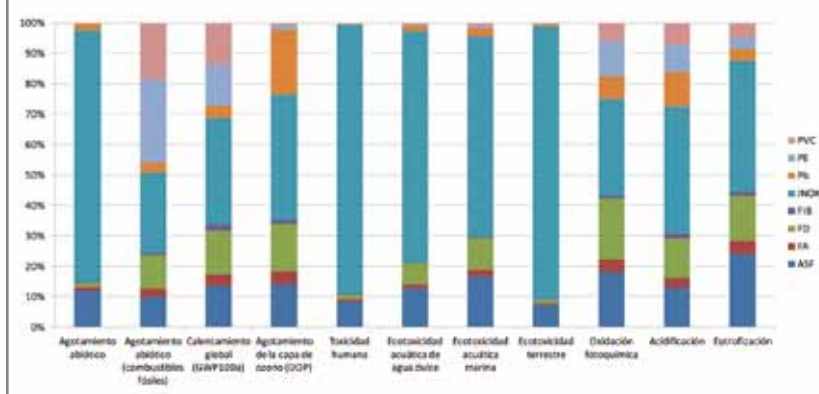
Si se analiza la totalidad de las tuberías que conforman la red según su material, se observa que las tuberías de fundición dúctil son las que contribuyen con unos valores más elevados en todos los impactos, alrededor de un 35%. Le siguen las tuberías de fibrocemento (32%) y de polietileno (19%), siendo el resto mucho más minoritarias (**Figura 5**). La aportación de los diferentes tipos de materiales de los tubos a la totalidad de los impactos de la red puede venir influida tanto por su abundancia como por el impacto del propio material.

Para poder evaluar el impacto de los diferentes materiales se han comparado los valores obtenidos en cada categoría de impacto producidos por un kg de cada uno de los materiales considerados (**Figura 6**). Se observa el elevado impacto del acero inoxidable en casi todas las categorías

**Figura 5.** Perfil de caracterización del impacto de las tuberías según los diferentes tramos de materiales.



**Figura 6.** Comparativa de las diferentes categorías de impacto por un kg de los diferentes materiales de los tubos.



de impacto (56% de media) y responsable del 90% en las categorías de toxicidad humana y ecotoxicidad terrestre, y un 85% en agotamiento abiótico.

Resaltan los bajos valores en los apartados de toxicidad tanto del plomo como del fibrocemento, compuesto en un 15% por fibras de amianto.

Para analizar el efecto de su abundancia, se ha comparado, en porcentaje, la contribución media de cada material a la totalidad de los impactos analizados, con la longitud y los pesos totales para cada material (**Tabla 5**). Así se observa:

- El 44,7% de la red está constituida por tubos de polietileno (PE), mientras que solo suponen un 19,0% de los impactos, dado el bajo peso de los tubos (5,3%) y los bajos valores de este material en casi todas las categorías de impacto.

- En el caso contrario se encuentra la fundición dúctil, que constituye el 15,9% de la red, pero es responsable del 37,2% de media de los impactos ambientales. Son los tubos que presentan un mayor peso (51,8%) de toda la red, de manera que su aportación a las categorías de impacto es debida, sobre todo, a su peso total.



**Tabla 5.** Comparativa del peso, la longitud y la contribución media de cada material a los impactos analizados, en %.

Característica	ASF	FA	FD	Pb	PE	PVC	INOX	FE	FIB
kg	2,4	1615,8	3911,5	0,5	398,9	41,0	49,3	21,7	1505,5
%	0,03	21,4	51,8	0,01	5,3	0,54	0,65	0,29	19,9
km	0,1746	3,9150	70,4702	0,1199	197,6337	17,1189	0,6035	1,3181	150,7921
%	0,04	0,89	15,9	0,03	44,7	3,87	0,14	0,30	34,1
Contribución media a los impactos %	0,06	4,77	37,2	0,01	19,0	2,27	3,91	0,55	32,3

- Destacan también los tubos de acero inoxidable, que representan solamente un 0,14% en longitud y un 0,65% en peso de todos los tubos, pero contribuyen con una media del 3,91%. Debe recordarse que el acero inoxidable es el material con más impacto de todos los

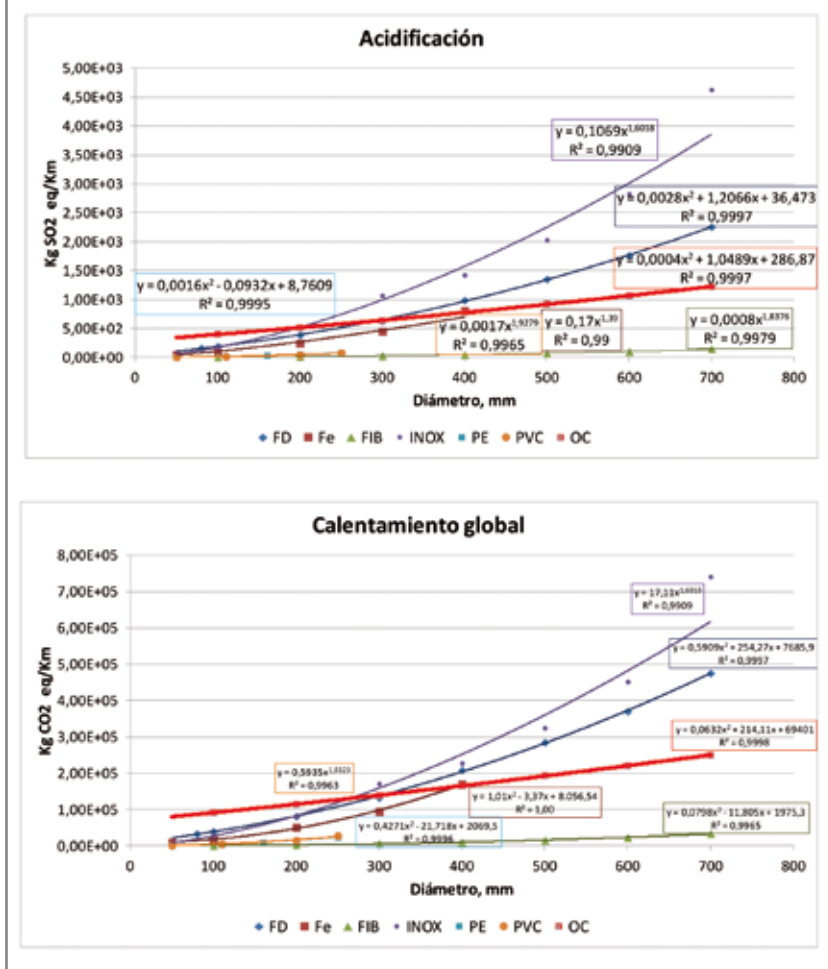
considerados, destacando en las categorías de ecotoxicidad terrestre, toxicidad humana y agotamiento abiótico.

- Los tubos de hormigón armado (FA) constituyen un 0,89% de la red en longitud, pero un 21,4% en peso (tubos de 700 mm de diámetro). Por

esta razón, su contribución media a los impactos estudiados es superior (4,8%) a los esperados según su predominio en la red.

- La contribución del resto de materiales a los impactos es del mismo orden que su abundancia considerada en longitud.

**Figura 7.** Rectas de regresión de los tubos en función de los diámetros y de la obra civil (OC) para instalarlos para las categorías de impacto acidificación y calentamiento global.



En el análisis detallado de los impactos de los tubos de cada material según su diámetro y de la obra civil necesaria para instalarlos (Figura 7), se aprecia:

- El acero inoxidable es el material que comporta más impacto en todos los parámetros y en casi todos los diámetros estudiados, exceptuando la oxidación fotoquímica, donde la fundición dúctil presenta valores superiores. Resaltar los altos valores del inoxidable en las ecotoxicidades debido al propio material más que a su peso (peso tubos INOX 100 mm de diámetro 5,35 kg, FD 100 mm de diámetro 18,36 kg).

- Los tubos metálicos (acero inoxidable, fundición dúctil y hierro), presentan valores de impacto más elevados en casi todas las categorías de impacto. En un segundo grupo se encontrarían los tubos de polietileno, PVC y las de fibrocemento.

- Destacan, también aquí, los bajos valores de los impactos de la toxicidad humana en los tubos de fibrocemento, donde un 15% en peso es crisolito.

- En diámetros inferiores a 200 mm la obra civil presenta valores de impacto superiores a la mayoría de tubos, en casi todas las categorías estudiadas. Esto explica parte de la elevada contribución de la obra civil en todos los impactos, si se tiene en cuenta que el 88% de la red tiene un diámetro inferior a los 200 mm.

- En todos los parámetros y diámetros estudiados, los impactos de la obra civil son superiores a los producidos por los tubos de PE, PVC y FIB, que representan el 82,7% en longitud, de toda la red, y que explica también el predominio de la obra civil en todos los impactos estudiados.

- Para diámetros superiores a 300-400 mm el impacto de los tubos de FD y INOX es superior al de la obra civil en muchos de los impactos estudiados.

## 5. Conclusiones

La realización de un estudio de los diferentes impactos ambientales generados en la construcción de una red de agua potable comporta dificultades por la gran variedad de elementos que la componen y las diferentes actuaciones de obra civil que hay que tener en cuenta.

Otro factor a tener en cuenta es que las redes de distribución de poblaciones históricas, como Girona, se han ido construyendo y modificando a lo largo de más de 150 años, con materiales diferentes según la época, algunos de ellos obsoletos y que no se encuentran en las bases de datos. Así mismo, también en los procesos constructivos ha habido una evolución a lo largo del siglo pasado, con un constante incremento de la mecanización. La radiografía ambiental que se ha realizado correspondería a la construcción de la red con procesos constructivos actuales.

## En el análisis de los impactos de una red de distribución de agua, la obra civil de las tuberías es el principal elemento generador de impacto ambiental, siendo la responsable del 50% o más en casi todas las categorías de impacto

No se dispone de datos comparativos, pues no hay ningún estudio parecido publicado que pueda servir de referencia. El análisis del ciclo de vida se ha utilizado en estudios de la distribución de agua básicamente para evaluar los impactos ambientales durante la fase de operación [8], o en estudios comparativos de materiales de tuberías [20-21]. En el estudio realizado sobre Betanzos [19] se consideran algunas fases constructivas de instalación de las tuberías, así como parte de la valvulería. No obstante, en el presente estudio se tienen en cuenta más procesos constructivos y más elementos de la red (más válvulas, depósitos, estaciones de bombeo, más diámetros de tuberías...).

Del presente estudio del ACV de la construcción de la red de agua potable de Girona, Salt y Sarrià de Ter se puede concluir:

- Se ha observado la falta de datos de ecotoxicidad en la base de datos Ecolnvent v.3 en cuanto a los materiales plomo y crisotilo.

- El 75% del impacto de la construcción de la red de abastecimiento de Girona se produce por las tuberías y su instalación, mientras que las válvulas y los depósitos contribuyen con un 11-12% al total del impacto de la red cada uno de ellos. El impacto de las estaciones de bombeo es inferior al 5%.

- La consideración de la obra civil en el análisis de los impactos de una red de distribución de agua es

primordial, y el principal elemento generador de impacto ambiental. Es necesario considerar la obra civil de la instalación de las tuberías la responsable del 50% o más en casi todas las categorías de impacto. Para tubos de diámetros inferiores a 200 mm, los impactos de la obra civil son superiores a los del propio tubo. Considerando que alrededor del 90% de los tubos de las redes de distribución de agua potable son de diámetro inferior a 200 mm, la relevancia de la obra civil es evidente. Además, en todos los diámetros considerados de los tubos de PE, PVC y FIB, que constituyen el 82 % del total de tubos, los valores de las categorías de impacto de la obra civil son superiores a la de los tubos.

- Le siguen por orden de importancia los tubos, con una media del 20% entre todas las categorías de impacto y, en otro rango, la obra civil de válvulas y depósitos. El impacto de las estaciones de bombeo es minoritario.

- Para reducir los impactos deberían optimizarse la medida de las zanjas. A la vez, la selección de los materiales que configuren las tuberías han de minimizar los impactos (PVC y PE) y, por tanto, evitar el acero inoxidable, en todos los elementos de la red. Una configuración diferente de la cubierta de los depósitos que no contemple la utilización de poliestireno extruido contribuirá también a su reducción, en concreto en la categoría de impacto agotamiento de la capa de ozono.



A la vez, hay que continuar analizando las redes, incluyendo la fase de fabricación de los diferentes elementos a medida que se vayan publicando *Environmentals Product Declarations*, para tener en cuenta su impacto total y posibles diferencias con los valores actuales, analizar la repercusión de los residuos generados en la obra civil en el total de los impactos, así como la vida media de los tubos.

#### Bibliografía

- [1] <http://ec.europa.eu/clima/> (febrero 2014).
- [2] <http://www.epa.gov/climatechange/> (febrero 2014).
- [3] <http://www.nrdc.org/globalwarming/> (febrero 2014).
- [4] Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices (ISO 14044:2006).
- [5] Corominas, Ll.; Foley, J.; Guest, H.S.; Hospido, A.; Larsen, H.F.; Morera, S.; Shaw, A. (2013). Life Cycle Assessment applied to wastewater Treatment: state of the art. *Water Research*. núm. 47, págs. 5.480-5.492.
- [6] Stokes, J.; Horvath, A. (2006). Life cycle energy assessment of alternative water supply systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, núm. 11 (5), págs. 335-343.
- [7] Venkatesh, G.; Bratebo, H. (2011). Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: case study of Oslo (Norway). *Energy*, núm. 36 (2), págs. 792-800.
- [8] Escalè Santaulària, R. (2013). Projecte d'Execució d'un dipòsit circular d'aigua potable de 2.500 m<sup>3</sup> 'Paratge La Serra' Terme Municipal de Puig-Reig (Berguedà). Proyecto final de Grado, Ingeniería de la Edificación. <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/14999>.
- [9] Informes y Proyectos. <http://www.inypsa.es>.
- [10] Banc Bedec (2010). Base de dades ITeC online. <http://www.itec.cat/nouBedec.c/bedec.aspx> (consultado octubre, noviembre y diciembre 2013).
- [11] Ecolnvent (2013). Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Ecolnvent database v 3.0.
- [12] <http://www.walraven.com/library/documents/es/Pipe-Dimensions-and-Weights-data-sheet-ES.pdf> (octubre 2013).
- [13] [http://www.eduardocortina.com/archivos/familias/Tubo\\_y\\_Acc\\_Acero\\_Inoxidable\\_2010\\_03\\_29\\_13\\_16\\_45.pdf](http://www.eduardocortina.com/archivos/familias/Tubo_y_Acc_Acero_Inoxidable_2010_03_29_13_16_45.pdf) (octubre 2013).
- [14] <http://www.alinox.es/alinoxweb/inoxidables/5/14/35/0/tubos-de-acero-inoxidable-con-y-sin-soldadura-ASA-DIN-ISO.html> (octubre 2013).
- [15] <http://www.alchemyextrusions.com/pipe/> (octubre 2013).
- [16] [www.mexalit.com/pdf/FT\\_claseB.pdf](http://www.mexalit.com/pdf/FT_claseB.pdf) (octubre 2013).
- [17] [http://www.aiguesdegirona.cat/html/adg/serveis/marc\\_legal/Fitxes%20materials%20homologats%20aigua.pdf](http://www.aiguesdegirona.cat/html/adg/serveis/marc_legal/Fitxes%20materials%20homologats%20aigua.pdf). (octubre 2013).
- [18] <http://esp.sika.com/> (diciembre 2013).
- [19] Sanjuan-Delmás, D.; Petit-Boix, A.; Gasol M. C.; Villalba, G.; Suárez-Ujeda, M.E.; Gabarrell, X.; Josa, A.; Rieradevall, J. (2013). Environmental assessment of different pipelines for drinking water transport and distribution network in small to medium cities: a case from Betanzos, Spain. *Journal of Cleaner Production*, <http://dx.doi.org/10.1016>.
- [20] Dennison, F.J.; Azapagic, A.; Clift, R.; Colbourne, J.S. (1999). Life cycle assessment: comparing strategic options for the mains infrastructure – part I. *Water Science and Technology*, núm. 39 (10), págs. 315-31.
- [21] Piratla, K.R.; Ariaratnam, S.T.; Cohen, A. (2012). Estimation of CO<sub>2</sub> emissions from the life cycle of a potable water pipeline project. *Journal of Management in Engineering*, núm. 28, págs. 22-30.

# DESCUBRA Y CONSULTE MÁS ARTÍCULOS EN

# WWW.TECNOAQUA.ES ¡su portal de referencia!