

04-020

MODELING THE LIFE CYCLE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF THE URBAN WATER CYCLE: INFLUENCE OF THE SELECTED SECONDARY INVENTORY DATA

Ibáñez-Forés, Valeria ¹; Mcmanus, Marcelle ²; Papacharalampou, C ²; Bovea Edo, M^a Dolores ¹

¹ Universitat Jaume I, ² University of Bath

This research explores the environmental performance of the life cycle of urban water systems by applying the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. The need for accurate and representative life cycle inventory (LCI) data is the first step to fulfil this goal. To assure the appropriateness of these data, a critical assessment of available inventories in literature and commercial databases was carried out taking into account the following stages: 1) abstraction, 2) potabilization, 3) supply, 4) collection and 5) wastewater treatment. Selected LCI data were used to obtain environmental indicators for each stage of the urban water cycle. These indicators were combined in order to model the environmental behaviour of the whole cycle considering the different influences from the data sources. The measurements obtained may be used in future studies for calculating percentiles or other measures when assessing water cycle LCIs. This novel approach will be of interest to both LCA methodology researchers those researching the water industry, but also to those who will use data for water in the future.

Keywords: *Life cycle assessment; LCA; Life cycle inventory; LCI; urban water cycle*

MODELADO DEL COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA URBANA: INFLUENCIA DE LOS DATOS DE INVENTARIO SELECCIONADOS

Este trabajo se centra en analizar el ciclo de vida del agua urbana mediante la aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Para ello, es necesario disponer de datos de inventario del ciclo de vida (ICV) precisos y representativos del sistema a analizar. Para ello, se ha realizado una revisión crítica de los datos de ICV secundarios disponibles en bases de datos comerciales, abarcando las siguientes etapas: 1) extracción, 2) potabilización, 3) distribución, 4) recogida y 5) tratamiento del agua residual. A partir de ellos se obtuvieron indicadores ambientales que cuantifican el impacto ambiental de cada una de las etapas del ciclo de vida del agua urbana. Posteriormente, estos indicadores se combinaron con el fin de modelar el comportamiento ambiental del ciclo completo considerando la influencia del origen de los datos de ICV. Los resultados obtenidos pueden utilizarse en futuros estudios para el cálculo de percentiles, entre otros. Este nuevo enfoque es de interés tanto para investigadores centrados en el estudio de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, como en el estudio de la industria del agua.

Palabras clave: *Análisis del ciclo de vida; ACV; Inventario del ciclo de vida; ICV; ciclo del agua urbana*

Correspondencia: MD Bovea Edo bovea@uji.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación obtenida del "Pla de promoció de la investigació de la Universitat Jaume I".

1. Introducción

En agosto de 2013, la Comisión Europea publicó el Séptimo Informe sobre la aplicación de la Directiva relativa al Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas (Directiva 91/271/EEC). Este informe identifica las principales deficiencias en la aplicación de dicha directiva, entre las que destacan la necesidad de mejorar la comunicación de la información ambiental en el sector del agua, así como el cumplimiento de las obligaciones relativas a la gestión y tratamiento de aguas, con el fin de garantizar el buen estado de ríos, lagos, zonas costeras y aguas subterráneas (COM 574/2013).

Para mejorar el desempeño ambiental de los sistemas de gestión del agua desde un punto de vista holístico, es necesario conocer a fondo cómo se comporta el ciclo del agua urbana y cuáles son sus puntos débiles. La metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) (ISO 14040-44, 2006) es una herramienta que permite evaluar el desempeño ambiental de los sistemas desde “la cuna a la tumba”, por lo que permite considerar su ciclo completo.

Son diversos los artículos que aplican la metodología ACV a alguna de las etapas del ciclo del agua. Por ejemplo, Arroita et al. (2015) sobre la obtención de agua natural; Uche, Martínez-Gracia y Carmona (2014) estudian la distribución; Du et al. (2013) la recogida y los sistemas de alcantarillado; Garrido-Baserba et al. (2014), Risch et al. (2014), Niero et al. (2014) y Corominas et al. (2013^a) se centran en el tratamiento de aguas residuales; etc. Analizando dichas publicaciones, se observa que entre las mayores dificultades a la hora de analizar el ciclo del agua desde un punto de vista holístico mediante la aplicación de la metodología ACV, destaca por un lado la configuración de un Inventario del Ciclo de Vida (ICV) representativo y completo, y por otro, la dificultad de poder comparar los resultados de diferentes estudios debido a las diferentes unidades funcionales (UF) que considera cada uno de ellos. En algunos estudios, las UF están basadas en parámetros de calidad (habitante equivalente), mientras que en otros, en parámetros de cantidad (m³ de agua utilizadas por el usuario o de agua residual tratadas en las EDAR) (Corominas et al., 2013^b).

En esta línea, Loubet et al. (2014) comparó diversas aplicaciones de la metodología ACV al ciclo de vida del agua urbana desde su potabilización hasta su tratamiento como agua residual. Entre sus conclusiones, destacaba la necesidad de estandarizar el enfoque de la evaluación del ciclo del agua, incluyendo la definición de una unidad funcional común, así como de incorporar análisis de incertidumbre de los datos de inventario.

La obtención de datos de inventario primarios de cada una de las etapas en que puede dividirse el ciclo de vida del agua urbana no es siempre posible, por lo que se recurre en muchas ocasiones a datos de ICV secundarios incluidos en bases de datos comerciales. Sin embargo, la utilización de estos datos secundarios debe realizarse con cautela, puesto que la forma en que cada base de datos obtiene, expresa y referencia sus datos puede incorporar incertidumbre al análisis (ISO 14044, 2006).

El objetivo de esta comunicación es analizar cuál es el grado de incertidumbre en la contribución al impacto ambiental del ciclo del agua urbana en función del origen de los datos de inventario utilizados en su estudio de ACV. Para ello, tras describir el ciclo de vida del agua urbana (sección 2), en la sección 3 se aplica la metodología ACV a cada etapa de dicho ciclo, para lo que: se resumen las características del ciclo del agua analizado (sección 3.1), se describen los datos de inventario y bases de datos seleccionados (sección 3.2) y se presentan los resultados ambientales obtenidos por dato y etapa del ciclo del agua urbana bajo estudio (sección 3.3). Seguidamente, en la sección 4 se analizan las variaciones de los indicadores ambientales que se obtendrían al combinar los datos de inventario de cada una de las etapas para conformar el inventario del ciclo de vida completo del agua urbana. Para finalizar, las conclusiones se presentan en la sección 5.

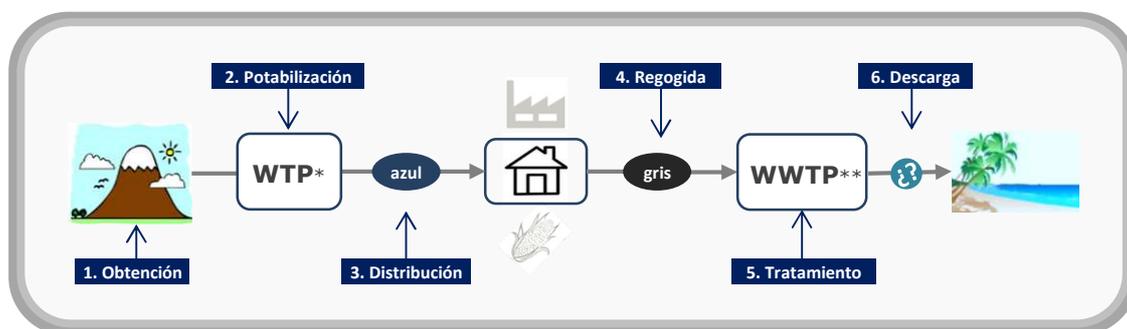
2. Ciclo de vida del agua urbana

El ciclo del agua urbana varía con factores como la localización, donde se incluye la orografía, el clima, etc.; el desarrollo tecnológico; la gestión que se realice del agua; las necesidades de abastecimiento; etc.

En general, dicho ciclo se puede dividir en una serie de fases que se muestran en la Figura 1 y se describen a continuación:

- 1) **Obtención de agua natural:** obtención de agua o bien del subsuelo, normalmente a través de la perforación de pozos sobre acuíferos, o bien de depósitos superficiales como pueden ser ríos o embalses. En el caso de estos últimos, los embalses suelen incorporar plantas hidráulicas de generación de energía.
- 2) **Potabilización del agua:** proceso encargado de asegurar que el agua destinada al consumo humano tiene la calidad, en términos de propiedades físicas y químicas, adecuadas para dicho consumo. Generalmente, esta etapa incluye procesos de coagulación-floculación, decantación, filtración y, finalmente, desinfección a través, por ejemplo, de la cloración.
- 3) **Distribución del agua:** transporte del agua desde las plantas de potabilización hasta los puntos de consumo. Para ello se requiere de un entramado de tuberías conectadas a estaciones de bombeo que permitan hacer llegar el agua a cualquier localización.
- 4) **Recogida/alcantarillado:** recogida y transporte del agua residual producida en el núcleo urbano hacia las plantas de tratamiento. Para ello se utiliza un entramado de conducciones subterráneas que conforman el sistema de alcantarillado urbano.
- 5) **Tratamiento:** el tratamiento de las aguas residuales se realiza en las EDAR, plantas donde el agua adquiere los estándares de calidad europeos necesarios para poder ser vertida a masas superficiales de agua como ríos, lagos o el mar. De manera general, los procesos a los que se somete el agua residual en las EDAR pueden agruparse en tres bloques: pre-tratamiento y tratamiento primario, basados fundamentalmente en tratamientos mecánicos donde se eliminan los residuos voluminosos, grasas, aceites, etc.; tratamiento secundario o biológico, donde se elimina el contenido biológico por ejemplo en reactores; y, finalmente, el tratamiento terciario, basado principalmente en la desinfección del agua. Además, dichas plantas incluyen una línea de fangos donde estos son espesados, digeridos y deshidratados.

Figura 1. Ciclo de vida del agua urbana



*WTP: *Water Treatment Plant* – Plantas potabilizadoras

**WWTP: *WasteWater Treatment Plant* – Plantas de tratamiento de agua residual

3. Aplicación de la metodología ACV para cada etapa del ciclo de vida del agua urbana

Para analizar la influencia que tiene el origen de los datos de inventario utilizados a la hora de modelar el ciclo de vida del agua urbana, se ha aplicado la metodología ACV a cada etapa de dicho ciclo.

3.1 Definición de objetivos y alcance

El objetivo es obtener indicadores ambientales que cuantifiquen el impacto ambiental de cada una de las etapas en que puede dividirse el ciclo de vida del agua urbana (Figura 1): obtención de agua natural, potabilización del agua, distribución del agua, recogida/alcantarillado y tratamiento.

El alcance del estudio incluye desde la etapa de extracción del agua natural hasta su tratamiento final como agua residual. Los parámetros generales del ciclo del agua, así como las características básicas y procesos incluidos en cada etapa del ciclo analizado, se resumen en la Tabla 1. Cabe señalar que dicho ciclo se basa en el ciclo del agua urbana en una ciudad de la costa este española y que sus parámetros básicos, inclusive los relativos a los flujos y pérdidas de agua entre etapas, se basan en los identificados por Amores et al. (2013) para el ciclo del agua en ciudades de la región mediterránea.

La unidad funcional considerada para todo el ciclo es 1 m³ de agua urbana suministrada al consumidor final, según el modelo propuesto por Amores et al. (2013).

Tabla 1: Alcance del ciclo del agua a analizar

Alcance: etapas consideradas	Características básicas del ciclo del agua considerado (Límites del sistema)	Volumen relativo a la UF (m ³ /m ³)*
Obtención de agua natural	Extracción de agua subterránea a través de pozos y sistemas de bombeo localizados sobre acuíferos.	1.2
Potabilización del agua	Proceso de potabilización de agua, procedente de pozos subterráneos, que permite dotar a dicha agua natural de los estándares europeos de calidad (<i>Directiva 98/83/EC</i>).	1.2
Distribución	Conjunto de canalizaciones y sistemas de bombeo que llevan el agua potabilizada hasta los puntos de consumo. Capacidad entre 6-18 Mm ³ /año y vida útil 70 años.	1.2
Recogida	Sistema de alcantarillado que facilite el transporte del agua residual desde los puntos de consumo a las plantas de tratamiento. Capacidad entre 5-15 Mm ³ /año, longitud entre 100-250 km y vida útil 100 años.	1
Tratamiento como agua residual	Tratamiento que combine técnicas físicas, químicas y biológicas que permitan que el agua residual cumpla con los requisitos de calidad europeos para su posterior vertido en aguas receptoras (<i>Directiva 91/271/EEC</i>). Plantas con capacidad entre 5-15 Mm ³ /año y vida útil media de 30 años.	1

*Amores et al. (2013)

3.2 Inventario del ciclo de vida

El inventario del ciclo de vida debe recoger, de manera específica y fiable, todas las entradas y salidas de materiales, agua, energía, emisiones a la atmósfera, vertidos al agua y al suelo, así como los residuos sólidos generados en cada etapa del ciclo del agua urbana.

De acuerdo a la norma ISO/TS 14048 (2002), dicho inventario se configuró mediante la cuantificación de los flujos de entrada y salida de cada una de las etapas del ciclo del agua urbana considerado (ver Tabla 1), desde la obtención del agua natural hasta el tratamiento previo a su vertido. Para ello, se utilizaron los datos de inventario que ofrecen las bases de datos ECOINVENT 3.01 (PRé Consultants, 2013), LCA-Food DK database (Nielsen et al., 2003) y ELCD 3.0 (Joint Research Centre [JRC], 2014).

Dichos datos fueron adaptados con el fin de hacerlos comparables e integrables en el ciclo del agua bajo estudio. Para ello, estos fueron referenciados a la unidad funcional en todas las etapas del ciclo (1 m³ de agua urbana suministrada al consumidor final) teniendo en cuenta las pérdidas de agua entre etapas (ver Tabla 1); fueron ajustados bajo la consideración de una calidad de aguas de entrada y salida equivalente en las etapas de potabilización y tratamiento, respectivamente; y, finalmente, fueron adaptados para que consideraran distancias entre plantas similares en las etapas de distribución y recogida de aguas.

Tabla 2: Datos de inventario para el ciclo del agua analizado

		Opciones a evaluar de cada base de datos		
		ECOINVENT	ELCD	LCA-FOOD
Fase	Obtención de agua natural			1
	Potabilización del agua	2	1	1
	Distribución	1		
	Recogida	4		
	Tratamiento como agua residual	4	2	1

A continuación, se describen los detalles del proceso de selección de datos de inventario:

- 1) **Obtención de agua natural.** Entre las bases de datos seleccionadas, únicamente LCA-Food incluye datos para la obtención de agua subterránea, ECOINVENT sólo contempla la obtención de agua de embalses con plantas hidráulicas y ELCD no incluye ningún dato para esta etapa. Por este motivo, la obtención del agua natural se modela únicamente a partir de los datos del LCA-Food.
- 2) **Potabilización del agua.** Las bases de datos seleccionadas parten de principios muy diferentes, mientras que ELCD ofrece la posibilidad de seleccionar la potabilización tanto de agua subterránea como de agua superficial, respectivamente, ECOINVENT únicamente permite seleccionar el proceso de potabilización de agua sin distinguir su procedencia, diferenciando únicamente los procesos en base a la procedencia de las plantas utilizadas para obtener sus datos (Suiza o resto del mundo). Por otro lado, la base de datos LCA-Food únicamente dispone de la potabilización de agua subterránea. Cabe señalar que en ningún caso se especifica la composición química de dichas aguas, por lo que la selección de la opción más adecuada es realmente complicada. En el caso de estudio se incluyen las opciones dadas por las tres bases de datos.
- 3) **Distribución del agua.** El principal problema en la selección de datos de distribución del agua es que cada dato está referenciado a unidades diferentes, mientras que en ECOINVENT es posible valorar la construcción de la red en base o bien a los km que esta tiene o a los m³ de agua que esta transporta, en la LCA-Food sólo puede valorarse el consumo energético derivado de la operación de la red. En el caso de estudio se ha

seleccionado la red de ECOINVENT, basada en la red suiza de transporte de agua del país.

- 4) **Recogida/alcantarillado**. Para modelizar la etapa de recogida del agua residual producida en el núcleo urbano, es necesario recabar información relativa al sistema de alcantarillado. ECOINVENT ofrece la posibilidad de modelizar dicha etapa a través de 10 tipos de alcantarillado agrupados en 5 clases de sistemas en base a su capacidad y tamaño y, a su vez, cada clase basada en datos suizos o globales, respectivamente. Para acotar los datos a analizar, se han seleccionado aquellos sistemas de recogida con capacidades de transporte entre 10.000-40.000 m³/día y longitud entre 100-250 km.
- 5) **Tratamiento**. Las tres bases de datos analizadas ofrecen opciones para modelizar el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, o bien no especifican el tipo de planta modelizada o bien diferencian las plantas en base al volumen o la calidad del agua tratada, respectivamente. ECOINVENT ofrece datos para cinco tipos de plantas de capacidades distintas, que a su vez están configuradas o bien a partir de datos suizos o bien con datos internacionales. En este caso se han seleccionado las cuatro plantas de la base de datos de ECOINVENT con capacidad de tratamiento entre 10.000-40.000 m³/día. En el caso de la base de datos LCA-Food, únicamente existe una alternativa, una planta de elevada eficiencia energética en cuya descripción únicamente se indica que alcanza una capacidad de 350.000 habitantes-equivalentes. El tratamiento de aguas residuales seleccionado de la base de datos ELCD no indica la capacidad de la planta, únicamente que su tratamiento permite cumplir con los requisitos de la Directiva 91/271/EEC de tratamiento de aguas residuales urbanas.

3.3 Evaluación del impacto ambiental

Una vez seleccionados los datos de inventario para configurar el ICV del ciclo del agua urbana, se ha realizado la evaluación del impacto ambiental de cada dato en cada etapa. Para ello se ha aplicado el método CML-IA baseline (Center of Environmental Science [CES], 2014) con el programa informático SimaPro 8.0.4 (2014).

Siguiendo la metodología propuesta por la norma ISO 14040-44 (2006), se han obtenido indicadores ambientales para las categorías de impacto: Consumo de recursos abióticos (kg Sb eq.), Consumo de recursos abióticos (combustibles fósiles) (MJ), Calentamiento Global (kg CO₂ eq.), Toxicidad en humanos (kg 1,4-DB eq.), Ecotoxicidad acuática en agua dulce (kg 1,4-DB eq.), Ecotoxicidad acuática marina (kg 1,4-DB eq.), Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4-DB eq.), Acidificación (kg SO₂ eq.) y Eutrofización (kg PO₄³⁻ eq.).

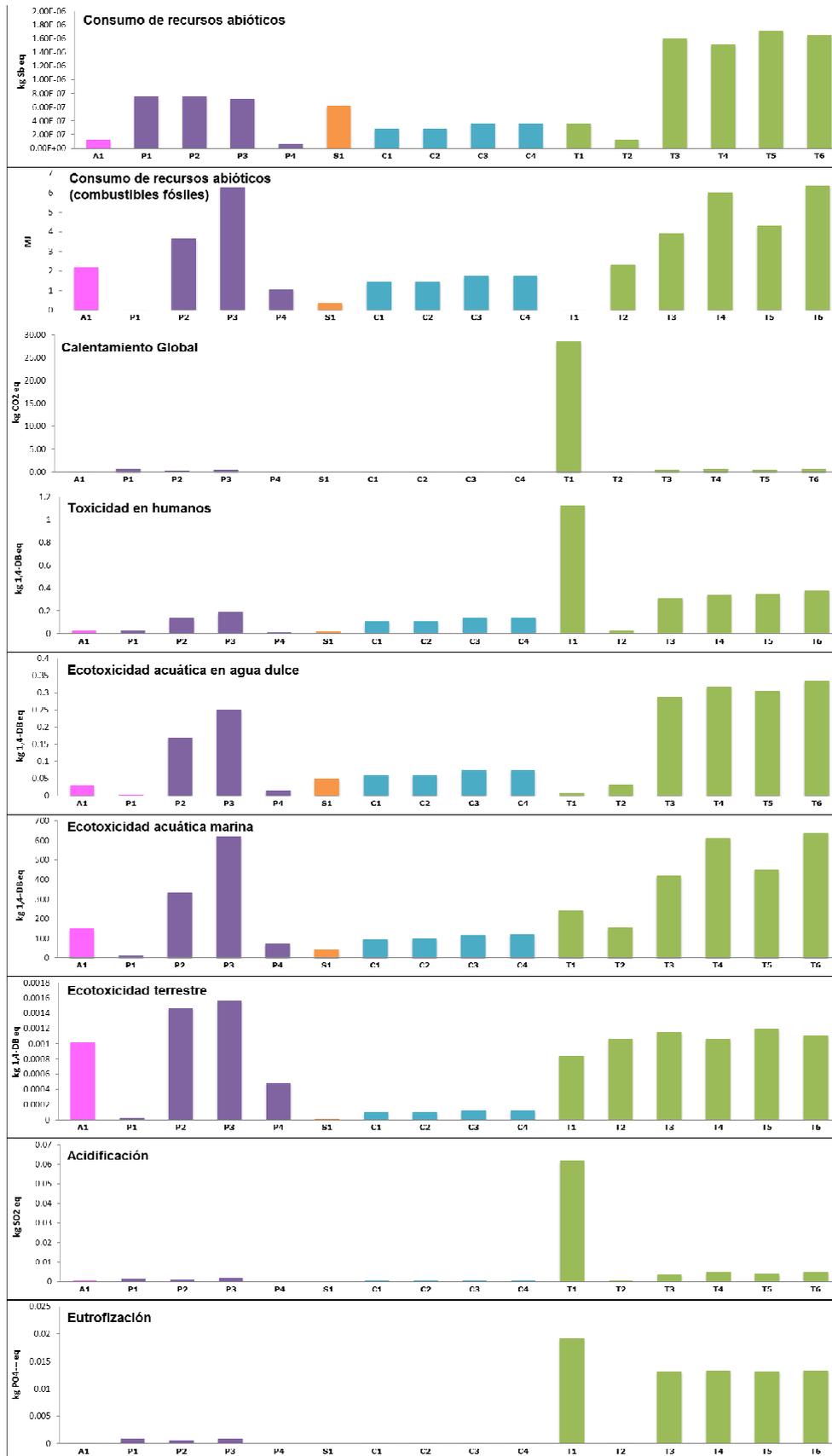
Los datos evaluados, la nomenclatura utilizada, así como la base de datos a la que pertenecen se resumen en la Tabla 3 y los resultados ambientales obtenidos se muestran en la Figura 2.

Tabla 3: Datos de inventario bajo estudio

	Nombre	Etapa	Base de datos
	A1	Obtención	LCA-Food
	P1	Potabilización	ELCD
	P2 – P3		ECOINVENT
	P4		LCA-Food
	S1		Distribución
	C1 – C4	Recogida	ECOINVENT
	T1	Tratamiento	ELCD
	T2		LCA-Food
	T3 – T6		ECOINVENT

Tal y como muestra la Figura 2, se observan diferencias entre los indicadores ambientales obtenidos para una misma categoría de impacto y para una misma etapa del ciclo del agua, tanto a partir de ICV procedentes de una como de diferentes bases de datos. Como ejemplo del primer caso, pueden destacarse las diferencias encontradas entre las alternativas P2 y P3 (ambas de ECOINVENT) para la etapa de potabilización del agua en las categorías “Consumo de recursos abióticos (combustibles fósiles)” o “Ecotoxicidad acuática marina”. Como ejemplo del segundo caso, se observan diferencias entre T1 (ELCD), T2 (LCA-Food) y T5 (ECOINVENT) para la etapa de tratamiento de aguas en la mayoría de las categorías de impacto analizadas.

Figura 2. Impactos ambientales de cada fuente de datos utilizada para cada etapa del ciclo del agua (Unidad funcional 1m³ de agua consumida por el usuario)

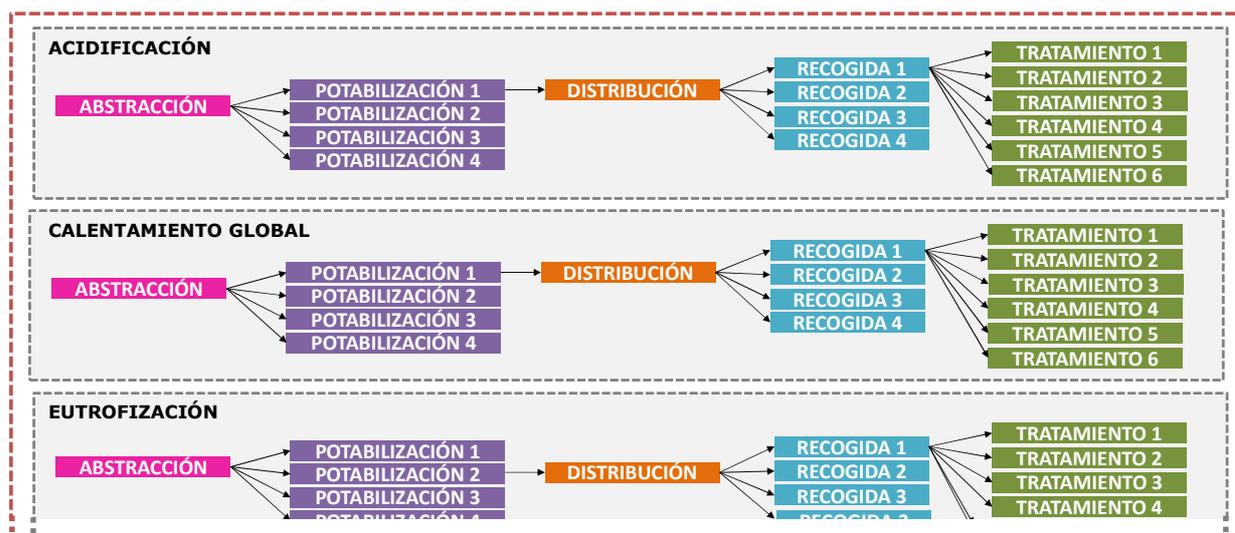


4. Discusión

Una vez conocidos los indicadores ambientales para cada etapa del ciclo del agua considerado, en función de la base de datos utilizada para su análisis, el objetivo es analizar la influencia que la utilización de dichos datos tendrá en la modelización del ciclo de vida completo del agua urbana. Es decir, se desea cuantificar cómo variaría el impacto ambiental del ciclo del agua urbana en función de la utilización de unos u otros datos secundarios, con el fin de valorar la incertidumbre que dichos datos secundarios aportan al ACV del ciclo completo.

Para ello, siguiendo la metodología presentada por Ibáñez-Forés, Bovea y Simó (2011), se han combinado los resultados obtenidos del ACV por etapas, según cada fuente de datos secundarios, para modelar el ciclo de vida completo y obtener cuál es la contribución total al impacto de dicho ciclo, tal y como muestra la Figura 3. Concretamente, se han combinado los resultados ambientales obtenidos para el proceso de obtención de agua natural subterránea, para cuatro procesos de potabilización equivalentes, para un sistema de distribución del agua, para cuatro sistemas de alcantarillado y, finalmente, para seis posibles tratamientos de agua residual.

Figura 3. Datos ambientales obtenidos mediante la combinación de los datos secundarios analizados para cada una de las nueve categorías de impacto



Los valores medios de los indicadores ambientales para el ciclo de vida del agua urbana, obtenidos tras combinar los datos de cada proceso unitario, se muestran en la Tabla 4.

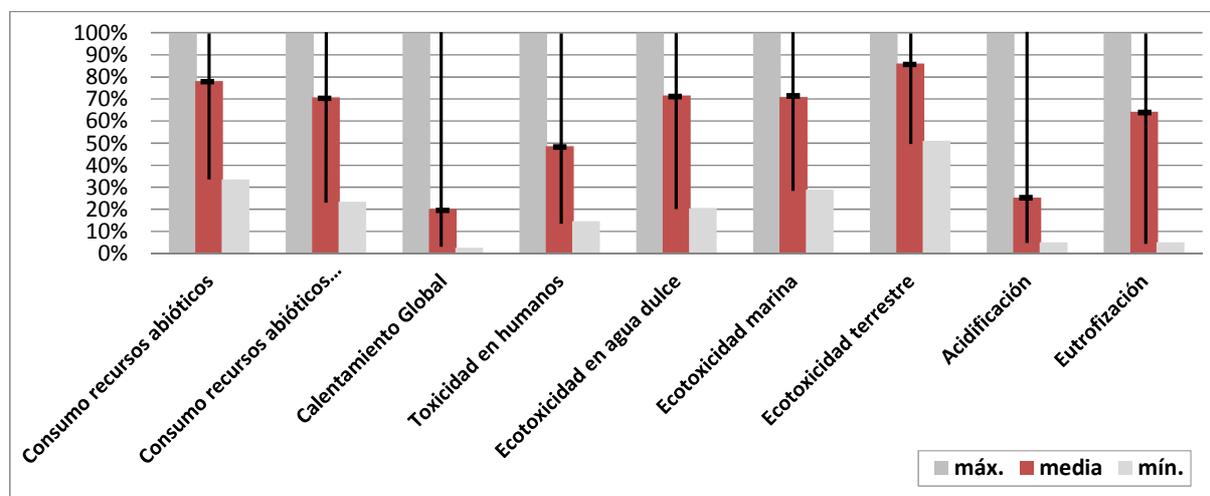
Tabla 4: Indicadores ambientales promedio para el ciclo de vida del agua urbana, por categoría de impacto

Categoría de impacto	Impacto medio	Unidad
Consumo de recursos abióticos	2.801E-06	kg Sb eq.
Consumo de recursos abióticos (combustibles fósiles)	1.202E+01	MJ
Calentamiento Global	5.938E+00	kg CO ₂ eq.
Toxicidad en humanos	7.311E-01	kg 1,4-DB eq.
Ecotoxicidad acuática en agua dulce	5.292E-01	kg 1,4-DB eq.
Ecotoxicidad acuática marina	1.115E+03	kg 1,4-DB eq.
Ecotoxicidad terrestre	3.370E-03	kg 1,4-DB eq.
Acidificación	1.650E-02	kg SO ₂ eq.
Eutrofización	1.324E-02	kg PO ₄ ³⁻ eq

A partir de las combinaciones de datos formadas, que conforman el conjunto de resultados ambientales alternativos asociados al ciclo del agua urbana considerado, se calculan parámetros descriptivos como los porcentajes de variación que dicho impacto alcanza, en cada categoría, en base a las bases de datos utilizadas en su modelización. El objetivo es cuantificar porcentualmente la variación del impacto en base a la utilización de diferentes datos secundarios para modelar los mismos procesos.

Para ello, se obtienen las diferencias máximas encontradas entre todos los resultados ambientales obtenidos para el ciclo del agua completo a partir de la combinación de los resultados por etapas. Concretamente, se analiza, de manera porcentual, la contribución al impacto máxima, mínima y media obtenidas, mediante la combinación de datos, en cada categoría de impacto analizada. Los resultados obtenidos se representan en la Figura 4.

Figura 4. Variación del impacto ambiental del ciclo de vida del agua urbana



Las categorías “Calentamiento global”, “Oxidación fotoquímica” y “Acidificación” son las que mayores diferencias presentan, mostrando una diferencia del 80% entre la contribución media y máxima. Por otro lado, la “Ecotoxicidad acuática en agua dulce”, así como la “Eutrofización”, también presentan elevada divergencia, concretamente unas diferencias del 50% entre los valores medios y mínimos.

5. Conclusiones

Este estudio analiza cómo influye la selección de los datos de inventario secundarios a la hora de obtener los indicadores ambientales que cuantifican el impacto del ciclo de vida del agua urbana.

En general, puede afirmarse que en la modelización del ciclo del agua urbana la elección de la base de datos, incluso los datos escogidos dentro de una misma base, van a influir en los resultados ambientales obtenidos mediante la aplicación de la metodología ACV, los cuales pueden alcanzar porcentajes de variación superiores al 80% en algunas categorías de impacto (“Calentamiento global”, “Acidificación” y “Eutrofización”). Por ello, ante la falta de datos de inventario primarios, se recomienda analizar la aplicabilidad de los datos de inventario secundarios (bases de datos comerciales/bibliografía) y adaptarlos a cada caso de estudio específico. Entre los parámetros a estudiar destacan la localización de las plantas, las tecnologías utilizadas (aunque estas aporten los mismos resultados) y las capacidades de las plantas que cada base de datos consideró en la configuración de sus datos de inventario.

Por otro lado, al modelar el ICV es necesario tener presente los problemas y dificultades identificados en la selección de los datos, como por ejemplo, la elección de la unidad funcional del estudio y la búsqueda de datos que concuerden con ella, intentando no mezclar información referida a calidad y cantidad de agua, respectivamente. Además, en la búsqueda de datos relativos a los procesos de potabilización y tratamiento hay que tener en cuenta que el cumplimiento de los estándares de calidad de un agua no implica que el agua de salida de las plantas que cumplen dicho estándar tenga la misma calidad, ni tampoco que la calidad del agua de entrada sea la misma. Por ello, es necesario examinar exhaustivamente el proceso escogido, para asegurarse de que concuerda con el proceso a modelar.

Los resultados obtenidos en este trabajo pueden servir de base en futuros estudios para el cálculo de parámetros como:

- Modelos de distribución del comportamiento ambiental del ciclo del agua para cada categoría de impacto apoyados en tests de bondad de ajuste que permitan determinar la distribución estadística que mejor se adapta a los resultados obtenidos.
- Intervalos de confianza para parámetros estadísticos como la media y la desviación estándar, de las contribuciones totales obtenidas.
- Cálculo de percentiles u otras medidas de evaluación de datos.

6. REFERENCIAS

Amores, M.J., Meneses, M., Pasqualino, J., Antón, A. & Castells, F. (2013). Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions by LCA approach. *Journal of Cleaner Production*, 43, 84-92.

Arroita, M., Aristi, I., Díez, J., Martínez, M, Oyarzun, G. & Elosegi, A. (2015). Impact of water abstraction on storage and breakdown of coarse organic matter in mountain streams. *Science of the Total Environment*, 503-504, 233-240.

Center of Environmental Science (2013). CML-IA LCA methodology. Leiden University, The Netherlands. Disponible en: <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>

Comisión Europea. COM 574/2013 Séptimo informe de la Comisión sobre la aplicación de la Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (91/271/CEE). Bruselas, 7.8.2013.

Corominas, L., Larsen, H.F., Flores-Alsina, X. & Vanrolleghem, P.A. (2013^a). Including Life Cycle Assessment for decision-making in controlling wastewater nutrient removal systems. *Journal of Environmental Management*, 128, 759-767.

Corominas, L., Foley, J., Guest, J.S., Hospido, A., Larsen, H.F., Morera, S. & Shaw, A. (2013^b). Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art. *Water Research*, 47 (15), 5480-5492.

Du, F., Woods, G.J., Kang, D., Lansey, K.E. & Arnold, R.G. (2013). Life cycle analysis for water and wastewater pipe materials. *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 139 (5), 703-711.

Garrido-Baserba, M., Hospido, A., Reif, R., Molinos-Senante, M., Comas, J. & Poch, M. (2014). Including the environmental criteria when selecting a wastewater treatment plant. *Environmental Modelling and Software*, 56, 74-82.

Ibáñez-Forés, V., Bovea, M.D. & Simó, A. (2011). Life cycle assessment of ceramic tiles. Environmental and statistical analysis. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16, 916-928.

ISO 14040:2006. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. European Committee for Standardization (CEN), Geneva.

ISO 14044:2006. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. European Committee for Standardization (CEN), Geneva.

ISO/TR 14048:2002. Environmental management - Life Cycle Assessment - Data documentation format. European Committee for Standardization (CEN), Geneva.

Joint Research Centre (2014). European Reference Life Cycle Database (ELCD) Core Database (Version III). European Commission. Disponible en: http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?pape_id126

Loubet, P., Roux, P., Loiseau, E. & Bellon-Maurel, V. (2014). Life cycle assessments of urban water systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature. *Water Research*, 67, 187-202.

Nielsen P.H., Nielsen A.M., Weidema B.P., Dalgaard R. & Halberg N. (2003). LCA food data base. Disponible en: www.lcafood.dk

Niero, M., Pizzol, M., Bruun, H.G. & Thomsen, M. (2014). Comparative life cycle assessment of wastewater treatment in Denmark including sensitivity and uncertainty analysis. *Journal of Cleaner Production*, 68, 25-35.

PRé Consultants (2013). The life cycle inventory data - Ecoinvent v3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Switzerland.

Risch, E., Loubet, P., Núñez, M. & Roux, P. (2014). How environmentally significant is water consumption during wastewater treatment?: Application of recent developments in LCA to WWT technologies used at 3 contrasted geographical locations. *Water Research*, 57, 20-30.

SimaPro 8.0.4 (2014). SimaPro v8.0.4. PRé Consultants, B.V. Amersfoort, The Netherlands.

Uche, J., Martínez-Gracia, A. & Carmona, U. (2014). Life cycle assessment of the supply and use of water in the Segura Basin. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19 (3), 688-704.

Unión Europea. Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. *Diario Oficial de la Comunidad Europea*, 5 de diciembre de 1998, núm. 330, pp. 32-54.

Unión Europea. Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 30 de mayo de 1991, núm. 135, pp. 40-52.