

## Uso de Metodología ACV para la Evaluación Ambiental de Alternativas de Reutilización de Agua

Montse Meneses<sup>1</sup>, Jorgelina C. Pasqualino<sup>2</sup>, Francesc Castells<sup>2</sup>, Josep Flores<sup>3</sup>,  
Raquel Céspedes<sup>3</sup>, Lluís Sala<sup>4</sup>, Maribel Marin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universitat Autònoma de Barcelona

<sup>2</sup>Grupo AGA, Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili, Tarragona

<sup>3</sup>CETAQUA, Centro Tecnológico del Agua (AGBAR), Barcelona

<sup>4</sup>Consorci de la Costa Brava, Girona

### RESUMEN

La aplicación de tratamientos terciarios para la reutilización de las aguas de salida de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), es objeto de un interés creciente en los últimos años.

Las estrategias de reutilización de agua tratada pretenden resolver el problema de la escasez de agua sin agravar otros problemas ambientales. En este contexto, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) ofrece un enfoque holístico para la evaluación ambiental de las distintas opciones de reutilización.

En este trabajo se utiliza la metodología ACV para evaluar diferentes tecnologías de tratamiento terciario y valorar las ventajas y los inconvenientes de la reutilización de aguas residuales urbanas en aplicaciones distintas al uso de boca. Se han comparado los efectos ambientales de la producción de 1 m<sup>3</sup> de agua para usos no potables a partir de agua reutilizada, de agua potable procedente de ETAP y de agua desalinizada. Este análisis se ha acompañado también de un estudio económico y de un análisis de sensibilidad. El cálculo se ha realizado considerando datos actuales de operación de una estación depuradora situada en la zona del Mediterráneo, aunque los resultados pueden aplicarse a cualquier otra planta. El empleo de agua reutilizada, para su uso como agua no potable, es beneficioso tanto desde el punto de vista económico como medioambiental.

### PALABRAS CLAVE

Reutilización, regeneración, Análisis de ciclo de vida, Evaluación ambiental, agua residual, agua no potable

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad la regeneración del agua residual es una herramienta que permite mejorar la gestión de los recursos hídricos. Aunque la reutilización de agua regenerada está siendo promovida como una de las posibles soluciones a los problemas de abastecimiento de agua, hay pocos países en los que realmente esté implementada. Varios países Mediterráneos sufren continuamente episodios de sequía, a la vez que tienen dificultades para implementar la reutilización en sus plantas de tratamiento de aguas, o Estaciones Depuradoras de Agua Residual (EDARs).

Las aplicaciones en las que se puede utilizar el agua regenerada incluyen el riego, usos industriales, limpieza urbana, extinción de incendios, actividades recreativas, reabastecimiento de aguas superficiales, recarga de acuíferos, etc. Además, el uso de agua regenerada reduce el consumo de agua potable (y por lo tanto, evita el consumo de electricidad y reactivos necesarios para potabilizarla) (Sala y Serra, 2004).

La reutilización de agua residual puede convertirse en un recurso alternativo de agua. Sin embargo, la oposición social es significativa, llevando al rechazo del recurso por el usuario final. Además del concepto de riesgo, es necesaria una buena predisposición del usuario final,

que va a consumir el producto final (por ejemplo, los vegetales regados con agua regenerada, el césped de los campos de golf, los servicios de limpieza de calles, etc.). Algunas de las razones para este rechazo son los efectos potenciales de restos de contaminantes en las aguas, que puedan dañar la salud humana o contaminar el medio ambiente (contaminantes peligrosos, restos de productos farmacéuticos y productos de limpieza, etc.).

A pesar de que con las estrategias de reutilización de agua residual se pretende enfrentar el problema de la escasez de agua, se debe asegurar, por otro lado, que las acciones implementadas para resolver este problema no acarreen otros daños ambientales. Por este motivo, es necesaria la realización de una evaluación ambiental de las alternativas de reutilización de aguas residual, utilizando una metodología objetiva. En este contexto, la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es un enfoque adecuado para la evaluación ambiental de productos, procesos o servicios, y para la evaluación de diferentes alternativas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar el beneficio ambiental de utilizar agua regenerada en usos no potables, se ha comparado el perfil ambiental de las siguientes alternativas para la producción de 1 m<sup>3</sup> (Figura 1) de:

- Agua regenerada, para ser aplicada en riego agrícola: en los cálculos se han contemplado sólo las etapas de tratamiento correspondiente al tratamiento terciario del agua residual, además del beneficio ambiental debido al ahorro de fertilizante.
- Agua regenerada para ser aplicada en usos no-agrícolas: en los cálculos se han contemplado sólo las etapas de tratamiento correspondiente al tratamiento terciario del agua residual.
- Agua potable, obtenida a partir de tratamiento convencional de potabilización: se ha obtenido el perfil ambiental medio proveniente de diferentes plantas potabilizadoras estudiadas previamente y de plantas genéricas obtenidas en base de datos.
- Agua desalada, obtenida a partir de la desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa (Meneses et al., 2010): se ha obtenido el perfil ambiental medio proveniente de diferentes plantas desalinizadoras estudiadas previamente.

Además, se ha realizado un análisis económico de estas alternativas, cuando el agua producida en cada una de ellas se utiliza para usos agrícolas o no-agrícolas.

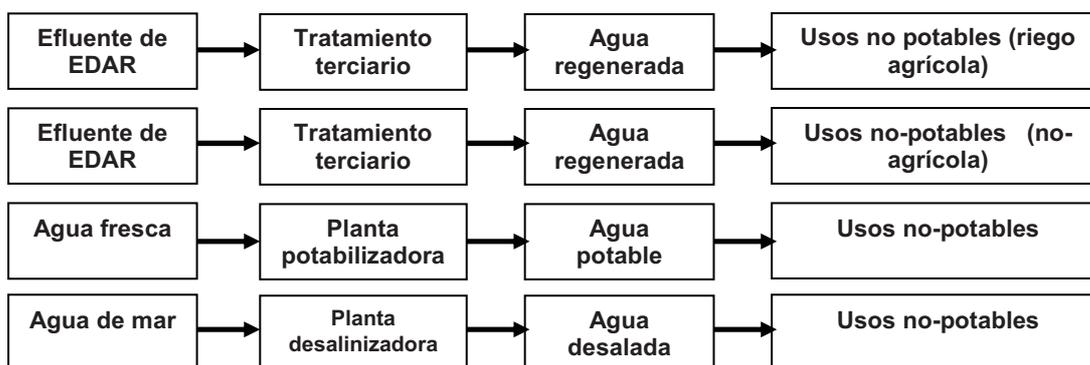


Figura 1 Esquema de las alternativas de producción de 1 m<sup>3</sup> de agua para usos no-potables

La metodología de ACV se ha desarrollado de acuerdo con estándares internacionales (ISO 14040 e ISO 14044). Como unidad funcional hemos seleccionado 1 m<sup>3</sup> de agua regenerada, producida en la EDAR, para usos no-potables. Dentro de los límites del sistema se ha incluido solo la etapa de operación de la planta, excluyendo la infraestructura y el desmantelamiento de la misma. Los tratamientos primario y secundario tradicionales de una EDAR, evaluados en estudios anteriores (Pasqualino et al., 2009), son imprescindibles y obligatorios para minimizar

el impacto ambiental de descargar el agua residual en el curso de agua natural, independientemente del hecho de que esta agua sea posteriormente regenerada o no. Por este motivo, las cargas ambientales y económicas relacionadas con el tratamiento tradicional del agua residual no deben asignarse al agua regenerada. Por tanto, el perfil ambiental de la producción del agua regenerada incluye solo el tratamiento terciario. Para los efectos de cálculo se han utilizado los datos actuales de operación de una EDAR situada en la costa Mediterránea. Sin embargo, los resultados pueden ser aplicables a otras plantas similares.

Todos los consumos de materia y energía de la planta se relacionaron con datos de inventario de cargas ambientales proporcionados por la base de datos ecoinvent v2.1. Estos datos fueron adaptados al mix eléctrico español y al modelo europeo de agua y transporte. En este estudio, hemos evaluado el indicador de Cambio Climático (GWP, Global Warming Potential, kg CO<sub>2</sub> eq.), calculado de acuerdo con la metodología CML2000, además de dos indicadores ambientales adicionales: el Uso de Agua (WU, Water Use, m<sup>3</sup>) y la Demanda Acumulada de Energía (CED, Cumulative Energy Demand, MJ). El indicador de uso de agua indica el consumo de agua proveniente de diferentes orígenes (agua dulce, agua superficial, agua subterránea, etc) a lo largo de todo el ciclo de vida.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra el perfil ambiental y la evaluación económica de la producción de 1 m<sup>3</sup> de agua para usos no potables (usos agrícolas como no agrícolas).

**Tabla 1 Perfil ambiental de la producción de 1 m<sup>3</sup> de agua para aplicaciones no potables**

Categoría de impacto	Agua reutilizada (uso agrícola)	Agua reutilizada (uso no-agrícola)	Agua Potable	Agua desalinizada
GWP (kg CO <sub>2</sub> -Eq)	0.142	0.219	0.277	3.11
WU (m <sup>3</sup> )	1.30	1.45	2.74	26.2
CED (MJ)	2.82	4.32	5.54	62.2
Coste del tratamiento (€/m <sup>3</sup> )	0.03	0.03	0.06	0.66
Coste de riego (€/ha)	163.9	-	327.7	2666.1

El uso de agua reutilizada en agricultura es la opción más favorable ambientalmente porque reduce las necesidades de fertilizante. El contenido de N en el agua reutilizada reemplaza una parte importante del fertilizante necesario por la agricultura. Para aplicaciones no agrícolas el uso de agua reutilizada y agua potable tiene perfiles ambientales semejantes, mientras que la producción de agua desalada presenta el impacto ambiental más grande. La diferencia más importante entre agua reutilizada y agua potable es el ahorro de agua.

El impacto del tratamiento terciario en una EDAR donde la materia prima es un residuo regenerado (agua residual de origen doméstico) puede ser comparable al impacto de la obtención de agua potable en una Empresa de Tratamiento de Agua Potable (ETAP), a pesar de que este último puede presentar problemas de suministro (agua de río, embalse o pozo).

El uso de agua regenerada en usos no potables, como son el riego de parques y jardines y la limpieza de calles, supone la utilización de una corriente residual que de otro modo se hubiera vertido al medio sin aprovechamiento.

Para los usos no potables del agua, si no se utiliza agua regenerada, se utilizan por lo general agua de 3 tipos de fuentes: agua de pozo (consumo energético debido a su captación y transporte, además de consumo de recursos de agua dulce), agua de ETAP (consumo de energía y reactivos en su captación y tratamiento, además de consumo de recursos de agua dulce) y agua

de IDAM, Instalación Desalinizadora de Agua de Mar (consumo de energía y reactivos en su captación y tratamiento).

El uso de agua regenerada en estas aplicaciones, por lo tanto, permite ahorrar los consumos de energía, reactivos y recursos de agua dulce derivados de las 3 fuentes anteriores, y por tanto, evita sus impactos ambientales. Por otro lado cabe destacar que el agua residual es una fuente continua, que no depende de la climatología.

El indicador de uso de agua, mide el consumo de agua fresca (ríos, lagos, agua subterránea, etc.) y salada, en todo el ciclo de vida del proceso, incluyendo el agua utilizada en la generación de energía eléctrica para producir los distintos tipos de electricidad (por ejemplo el agua utilizada en las centrales hidroeléctricas). Este indicador mide el consumo acumulado en todas las etapas del proceso sin precisar ni el lugar ni el momento del consumo. No se debe confundir por tanto con el consumo local de agua, muy significativo en tiempos de sequía. Por este motivo, el indicador de uso de agua indica que para obtener 1 m<sup>3</sup> de agua apta para usos no-potables, a partir del terciario de una EDAR, se requiere menos cantidad de agua (1,3 – 1,45 m<sup>3</sup>, dependiendo de la aplicación) que para producirlo en una ETAP (2,74 m<sup>3</sup>), en tanto que en una IDAM se consumen 18 veces esa cantidad de agua (26,2 m<sup>3</sup>). Sin embargo, la mayor parte del agua incluida en este indicador es agua que se utiliza sin consumirse (agua de centrales hidroeléctricas, o agua de enfriamiento de equipos), o que proviene de fuentes consideradas inagotables (agua de mar). Por otro lado, el indicador del uso de agua dulce como recurso local expresa el consumo de un recurso, que siendo escaso en determinados sitios, adquiere mayor importancia.

## CONCLUSIONES

La aplicación del agua regenerada tanto en usos agrícolas como no-agrícolas demuestra la ventaja de incluir un terciario en el proceso de una EDAR para de esta forma obtener un recurso valioso que puede reemplazar agua potable y desalinizada, especialmente en zonas con estrés hídrico. En el caso aplicaciones agrícolas, los beneficios ambientales obtenidos por el reemplazamiento de fertilizantes son muy relevantes debido al ahorro de fertilizante.

Al comparar agua potable y reutilizada para aplicaciones no agrícolas, a pesar de presentar impactos ambientales y económicos semejantes, el uso de agua reutilizada para reemplazar agua potable ayuda a preservar un recurso muy valioso (agua fresca).

El uso de agua desalada para usos no-potables no se ha de permitir, ya que el impacto ambiental y económico de su producción es significativo, cuando comparamos con otras opciones.

## RECONOCIMIENTOS

Este trabajo es parte del proyecto SOSTAQUA (“Desarrollos Tecnológicos hacia el ciclo urbano del agua autosostenible”), liderado por Aguas de Barcelona (AGBAR) y financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) a través del programa Ingenio 2010 dentro de la convocatoria CENIT. Agradecemos el proceso de adquisición de datos a todo el equipo de la planta de tratamientos y especialmente a Maribel Marín, Jefe de gestión de la zona sur de la Empresa Mixta d'Aigües de la Costa Brava.

## REFERENCIAS

- Meneses M, Pasqualino JC, Céspedes R, Castells F. 2009. Alternatives for reducing the environmental impact of the main residue from a desalination plant. *J Ind Ecol* (DOI: 10.1111/j.1530-9290.2010.00225.x).
- Pasqualino JC, Meneses M, Abella M, Castells F. 2009. LCA as a decision support tool for the environmental improvement of the operation of a municipal wastewater treatment plant. *Environ Sci Technol* 43:3300-3307.
- Sala L, Serra M. 2004. Towards sustainability in water recycling. *Water Sci Technol* 50:1-7.

**CONTACTO**

Francesc Castells  
Departament d'Enginyeria Química  
Universitat Rovira i Virgili  
Avda. Països Catalans 26  
43007 TARRAGONA (SPAIN)  
tel: +34-977-55 96 44  
email: [francesc.castells@urv.cat](mailto:francesc.castells@urv.cat)