



## RESUMEN AMPLIADO

### Reutilización del agua residual y contaminantes emergentes: Propuesta de un índice de calidad del efluente

Águeda Bellver-Domingo<sup>1</sup>; e-mail: [Agueda.Bellver@uv.es](mailto:Agueda.Bellver@uv.es)

Ramón Fuentes<sup>2</sup>; e-mail: [rfuentes@gcloud.ua.es](mailto:rfuentes@gcloud.ua.es)

Francesc Hernández-Sancho<sup>1</sup>; e-mail: [francesc.hernandez@uv.es](mailto:francesc.hernandez@uv.es)

Eric Carmona<sup>3</sup>; e-mail: [Eric.Carmona@uv.es](mailto:Eric.Carmona@uv.es)

Yolanda Picó<sup>3</sup>; e-mail: [Yolanda.Pico@uv.es](mailto:Yolanda.Pico@uv.es)

#### Departamento y Universidad:

1. Grupo de Economía del Agua (Departamento de Estructura Económica: Economía Aplicada II – Facultad de Economía; Campus dels Tarongers).
2. Facultad de Economía (Departamento de Análisis Económico Aplicado – Universidad de Alicante).
3. Grupo de Investigación en Seguridad Alimentaria y Medioambiental (SAMA-UV), Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE), Facultad de Farmacia.

**Área Temática:** Gestión de los recursos hídricos (Sesión especial de Economía del Agua)

**Palabras Clave:** indicador, reutilización, calidad, agua residual, contaminantes emergentes.

**Clasificación JEL:** Q53

#### Abstract ampliado:

El estado actual de los recursos hídricos supone un desafío para la gestión de las reservas de agua disponibles. La influencia del clima, así como las elevadas tasas de consumo repercuten negativamente en el volumen de agua disponible. Actualmente las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) están siendo utilizadas como fuentes de agua no convencionales, concretamente con fines agrícolas y urbanos (Bourazanis et al., 2016). De tal forma que la presión sobre las masas de agua superficiales y subterráneas se reduce (Maaß and Grundmann, 2016). De forma generalizada la reutilización de los efluentes de la EDARs se destina mayoritariamente a riego agrícola, tal y como se recoge en la literatura (Abunada and Nassar, 2015; Pilatakis et al., 2013; Woltersdorf et al., 2016). En el caso concreto de España, en el año 2014 se generaron 14 millones de m<sup>3</sup>/día de agua residual, de los cuales solo 1.5 millones de m<sup>3</sup>/día fueron reutilizados (INE, 2015). La diferencia entre el volumen total de agua residual generada y el total de agua reutilizada sugiere que existe un gran potencial de reutilización de los efluentes de las EDARs españolas.



Sin embargo, la reutilización del efluente de las EDARs ha de hacerse teniendo en cuenta que la calidad de dicho efluente no será la adecuada para el uso final que se le haya asignado (Pal et al., 2014). Estos problemas de calidad se deben, principalmente, a dos aspectos: (i) la heterogeneidad de la composición del agua residual bruta (Quist-Jensen et al., 2015) y la presencia de fármacos y productos de higiene personal (PPCPs). Los PPCPs se han convertido en un tema preocupante, ya no solo por su presencia en los efluentes de las EDARs, sino porque a través de dichos efluentes, estos compuestos se dispersan por las masas de agua superficiales y subterráneas de todo el mundo. Esta problemática está ampliamente recogida en la literatura publicada (Andrés-Costa et al., 2017; Andreu et al., 2016; Paíga et al., 2016; Schröder et al., 2016). Todos estos trabajos señalan que la tecnología de tratamiento del agua residual no es la adecuada para eliminar los PPCPs. Por esta razón, los PPCPs salen por el efluente de las EDARs sin que su concentración se haya reducido (Binelli et al., 2014; Campo et al., 2016; Zenobio et al., 2015).

Los estudios relacionados con la presencia de PPCPs en las EDARs se ubican dentro de dos campos de investigación principales: (i) técnico (Chen et al., 2015; Mailler et al., 2016; Wang et al., 2018) y (ii) laboratorio (Andrés-Costa et al., 2017; Carmona and Picó, 2018; Lorenzo et al., 2019). A través de estos campos de investigación se observa el problema de los PPCPs desde dos perspectivas diferentes pero complementarias. Por un lado se constata que las tecnologías que actualmente se están utilizando para depurar el agua residual no consiguen eliminar los PPCPs. Esta situación obliga a probar nuevas tecnologías con el fin de modernizar las infraestructuras de tratamiento de agua residual. Por otro lado, a través del enfoque de laboratorio, se identifican qué PPCPs tienen presencia mayoritaria en las aguas residuales, su concentración y su influencia sobre el ecosistema. Pese a que estos dos campos de investigación son los predominantes, está empezando a surgir otra área de estudio de los PPCPs desde un punto de vista económico. Este punto de vista considera que los PPCPs son externalidades ambientales cuya valoración monetaria permitirá su internalización en los procesos de toma de decisiones. Dentro de este campo destaca el trabajo de Bellver-Domingo et al. (2018), el cual utiliza la metodología de los precios sombra para obtener el valor monetario del salicylic acid, methylparaben y THCCOOH.

Todas las variables analizadas en estos estudios tienen un alto potencial para ser utilizadas como indicadores del funcionamiento y eficiencia de las EDARs. La construcción de indicadores en el campo del agua se fundamenta en la utilización de diferentes enfoques metodológicos que se adaptan a los datos disponibles. La calidad es un concepto muy amplio que aglutina una gran variedad de aspectos. Esta situación dificulta que la calidad del agua se pueda definir con precisión. A través del uso del Índice de calidad del agua (WQI, en sus siglas en inglés) se pretende agregar los parámetros que definen la calidad del agua en un valor (Terrado et al., 2010). Existe una amplia variedad de autores que han utilizado el WQI en diversos enfoques (Akkoyunlu and Akiner, 2012; Beamonte-Córdoba



et al., 2010; Hamlat et al., 2016; Medeiros et al., 2017). El uso de biomarcadores como indicadores biológicos de la contaminación permite conocer de forma específica cómo responde una población ante un cambio en las condiciones de su entorno a las cuales son expuestos. Los biomarcadores buscan efectos ecológicos subletales, de tal forma que se identifica qué concentraciones de contaminantes provocan efectos graves en la población analizada (Martinez-Haro et al., 2015). En la literatura hay una amplia variedad de autores que han utilizado diferentes biomarcadores para conocer el impacto que tiene la contaminación sobre diferentes organismos diana (Prat et al., 2013; Rames et al., 2016; Seitkalieva et al., 2015). Otro tipo de enfoque consiste en la construcción de un indicador compuesto. Éste surge cuando se agregan diferentes indicadores individuales, asociados a una temática en concreto, en un único indicador individual (OECD, 2008). Este enfoque ha sido utilizado en la literatura, tanto en masas de agua superficial como en los procesos de tratamiento del agua residual (Behrooz et al., 2018; Guerrini et al., 2016; Molinos-Senante et al., 2014; Sabia et al., 2016).

Utilizar el indicador compuesto como medida de la calidad del efluente (con miras a la reutilización) supone un avance en las opciones de gestión de las EDARs. Ser capaces de combinar la información disponible sobre PPCPs y la información sobre el proceso de tratamiento de las EDARs implica ir un paso más allá en la inclusión de los PPCPs como contaminantes prioritarios. Este enfoque está siendo actualmente desarrollado por los autores, con el fin de obtener un indicador compuesto asociado a los PPCPs. El indicador obtenido será de gran utilidad para identificar la idoneidad del efluente para su reutilización así como la identificación de aquellas EDARs con mayor presencia de PPCPs. De tal forma que el gestor de la EDAR será capaz de conocer cuál es el estado real de los PPCPs y qué EDARs necesitan mejoras tecnológicas inmediatas. Este trabajo pone de manifiesto la necesidad de centrar la atención en los PPCPs como contaminantes prioritarios dentro del contexto ambiental y social actual.

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Gobierno de España) y el FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional) a través del proyecto ECO2TOOLS (No. CGL2015-64454-C2-1-R, subproyecto Eco2RISK-DDS).

### **Bibliografía**

- Abunada, Z., Nassar, A., 2015. Impacts of wastewater irrigation on soil and Alfalfa crop: Case study from Gaza strip, *Environmental Progress & Sustainable Energy* 34, 648-654. doi: 10.1002/ep.12034.
- Akkoyunlu, A., Akiner, M.E., 2012. Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin, *Ecological Indicators* 18, 501-511. doi: //doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.018.
- Andrés-Costa, M.J., Pascual-Aguilar, J., Andreu, V., Picó, Y., 2017. Assessing drugs of abuse distribution in Turia River based on geographic information system and liquid chromatography mass spectrometry, *Science of The Total Environment* 609, 360-369. doi: //doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.123.

- Andreu, V., Gimeno-García, E., Pascual, J.A., Vazquez-Roig, P., Picó, Y., 2016. Presence of pharmaceuticals and heavy metals in the waters of a Mediterranean coastal wetland: Potential interactions and the influence of the environment, *Science of The Total Environment* 540, 278-286. doi: //dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.007.
- Beamonte-Córdoba, E., Casino Martínez, A., Veres Ferrer, E., 2010. Water quality indicators: Comparison of a probabilistic index and a general quality index. The case of the Confederación Hidrográfica del Júcar (Spain), *Ecological Indicators* 10, 1049-1054. doi: //doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.01.013.
- Behrooz, B., Suzanne, W., Regan, P., Nemat, H., Alavi-Shoshtari Maryam, 2018. Developing a Framework for Measuring Water Supply Resilience, *Nat. Hazards Rev.* 19, 04018013. doi: 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000292.
- Bellver-Domingo, A., Fuentes, R., Hernández-Sancho, F., Carmona, E., Picó, Y., Hernández-Chover, V., 2018. Monetary valuation of salicylic acid, methylparaben and THCOOH in a Mediterranean coastal wetland through the shadow prices methodology, *Sci. Total Environ.* 627, 869-879. doi: //doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.303.
- Binelli, A., Magni, S., Soave, C., Marazzi, F., Zuccato, E., Castiglioni, S., Parolini, M., Mezzanotte, V., 2014. The biofiltration process by the bivalve *D. polymorpha* for the removal of some pharmaceuticals and drugs of abuse from civil wastewaters, *Ecol. Eng.* 71, 710-721. doi: //dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.08.004.
- Bourazanis, G., Katsileros, A., Kosmas, C., Kerkides, P., 2016. The Effect of Treated Municipal Wastewater and Fresh Water on Saturated Hydraulic Conductivity of a Clay-Loamy Soil, *Water Resour. Manage.* 30, 2867-2880. doi: 10.1007/s11269-016-1307-9.
- Campo, J., Lorenzo, M., Pérez, F., Picó, Y., Farré, M.I., Barceló, D., 2016. Analysis of the presence of perfluoroalkyl substances in water, sediment and biota of the Júcar River (E Spain). Sources, partitioning and relationships with water physical characteristics, *Environmental Research* 147, 503-512. doi: //doi.org/10.1016/j.envres.2016.03.010.
- Carmona, E., Picó, Y., 2018. The Use of Chromatographic Methods Coupled to Mass Spectrometry for the Study of Emerging Pollutants in the Environment, *Crit. Rev. Anal. Chem.* 48, 305-316. doi: 10.1080/10408347.2018.1430555.
- Chen, X., Vollertsen, J., Nielsen, J.L., Gieraltowska Dall, A., Bester, K., 2015. Degradation of PPCPs in activated sludge from different WWTPs in Denmark, *Ecotoxicology* 24, 2073-2080. doi: 10.1007/s10646-015-1548-z".
- Guerrini, A., Romano, G., Ferretti, S., Fibbi, D., Daddi, D., 2016. A Performance Measurement Tool Leading Wastewater Treatment Plants toward Economic Efficiency and Sustainability, *Sustainability* 8. doi: 10.3390/su8121250.
- Hamlat, A., Guidoum, A., Koulala, I., 2016. Status and trends of water quality in the Tafna catchment: a comparative study using water quality indices, *Journal of Water Reuse and Desalination* 7, 228. doi: 10.2166/wrd.2016.155.
- INE, 2015. Encuesta sobre el suministro y saneamiento del agua [Inquiry about water supply and sanitation], 2015.
- Lorenzo, M., Campo, J., Morales Suárez-Varela, M., Picó, Y., 2019. Occurrence, distribution and behavior of emerging persistent organic pollutants (POPs) in a Mediterranean wetland protected area, *Science of The Total Environment* 646, 1009-1020. doi: //doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.304.
- Maaß, O., Grundmann, P., 2016. Added-value from linking the value chains of wastewater treatment, crop production and bioenergy production: A case study on reusing wastewater and sludge in crop production in Braunschweig (Germany), *Resour. Conserv. Recycling* 107, 195-211. doi: //dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.002.
- Mailler, R., Gasperi, J., Coquet, Y., Buleté, A., Vulliet, E., Deshayes, S., Zedek, S., Mirande-Bret, C., Eudes, V., Bressy, A., Caupos, E., Moillon, R., Chebbo, G., Rocher, V., 2016. Removal of a wide range of emerging pollutants from wastewater treatment plant discharges by micro-grain activated carbon in fluidized bed as tertiary treatment at large pilot scale, *Sci. Total Environ.* 542, Part A, 983-996. doi: //dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.153.
- Martinez-Haro, M., Beiras, R., Bellas, J., Capela, R., Coelho, J.P., Lopes, I., Moreira-Santos, M., Reis-Henriques, A.M., Ribeiro, R., Santos, M.M., Marques, J.C., 2015. A review on the ecological quality status assessment in aquatic systems using community based indicators and ecotoxicological tools: what might be the added value of their combination? *Ecological Indicators* 48, 8-16. doi: //doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.024.
- Medeiros, A.C., Faial, K.R.F., do Carmo Freitas Faial, Kelson, da Silva Lopes, Iris Danielly, de Oliveira Lima, M., Guimarães, R.M., Mendonça, N.M., 2017. Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil, *Marine Pollution Bulletin* 123, 156-164. doi: //doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.002.

- Molinos-Senante, M., Gómez, T., Garrido-Baserba, M., Caballero, R., Sala-Garrido, R., 2014. Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: A composite indicator approach, *Science of The Total Environment* 497-498, 607-617. doi: //doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.026.
- OECD, 2008. Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide, .
- Paíga, P., Santos, Lúcia H M L M, Ramos, S., Jorge, S., Silva, J.G., Delerue-Matos, C., 2016. Presence of pharmaceuticals in the Lis river (Portugal): Sources, fate and seasonal variation, *Sci. Total Environ.* 573, 164-177. doi: //dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.089.
- Pal, A., He, Y., Jekel, M., Reinhard, M., Gin, K.Y., 2014. Emerging contaminants of public health significance as water quality indicator compounds in the urban water cycle, *Environ. Int.* 71, 46-62. doi: //dx.doi.org/10.1016/j.envint.2014.05.025.
- Pilatakis, G., Manios, T., Tzortzakos, N., 2013. The use of primary and secondary treated municipal wastewater for cucumber irrigation in hydroponic system, *Water Practice and Technology* 8. doi: 10.2166/wpt.2013.044.
- Prat, N., Rieradevall, M., Barata, C., Munné, A., 2013. The combined use of metrics of biological quality and biomarkers to detect the effects of reclaimed water on macroinvertebrate assemblages in the lower part of a polluted Mediterranean river (Llobregat River, NE Spain), *Ecological Indicators* 24, 167-176. doi: //doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.06.010.
- Quist-Jensen, C.A., Macedonio, F., Drioli, E., 2015. Membrane technology for water production in agriculture: Desalination and wastewater reuse, *Desalination* 364, 17-32. doi: //dx.doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.001.
- Rames, E., Roiko, A., Stratton, H., Macdonald, J., 2016. Technical aspects of using human adenovirus as a viral water quality indicator, *Water Research* 96, 308-326. doi: //doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.042.
- Sabia, G., De Gisi, S., Farina, R., 2016. Implementing a composite indicator approach for prioritizing activated sludge-based wastewater treatment plants at large spatial scale, *Ecological Indicators* 71, 1-18. doi: //doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.053.
- Schröder, P., Helmreich, B., Škrbić, B., Carballa, M., Papa, M., Pastore, C., Emre, Z., Oehmen, A., Langenhoff, A., Molinos, M., Dvarioniene, J., Huber, C., Tsagarakis, K.P., Martinez-Lopez, E., Pagano, S.M., Vogelsang, C., Mascolo, G., 2016. Status of hormones and painkillers in wastewater effluents across several European states—considerations for the EU watch list concerning estradiols and diclofenac, *Environmental Science and Pollution Research* 23, 12835-12866. doi: 10.1007/s11356-016-6503-x.
- Seitkalieva, A.V., Menzorova, N.I., Rasskazov, V.A., 2015. Application of different enzyme assays and biomarkers for pollution monitoring of the marine environment, *Environ. Monit. Assess.* 188, 70. doi: 10.1007/s10661-015-5066-5.
- Terrado, M., Barceló, D., Tauler, R., Borrell, E., Campos, S.d., Barceló, D., 2010. Surface-water-quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks, *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 29, 40-52. doi: //doi.org/10.1016/j.trac.2009.10.001.
- Wang, Y., Wang, X., Li, M., Dong, J., Sun, C., Chen, G., 2018. Removal of Pharmaceutical and Personal Care Products (PPCPs) from Municipal Waste Water with Integrated Membrane Systems, MBR-RO/NF, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15. doi: 10.3390/ijerph15020269.
- Woltersdorf, L., Scheidegger, R., Liehr, S., Döll, P., 2016. Municipal water reuse for urban agriculture in Namibia: Modeling nutrient and salt flows as impacted by sanitation user behavior, *J. Environ. Manage.* 169, 272-284. doi: //dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.025.
- Zenobio, J.E., Sanchez, B.C., Leet, J.K., Archuleta, L.C., Sepúlveda, M.S., 2015. Presence and effects of pharmaceutical and personal care products on the Baca National Wildlife Refuge, Colorado, *Chemosphere* 120, 750-755. doi: //dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.10.050.