

# ACTIVIDAD FOTOSENSIBILIZADORA DEL AGUA RESIDUAL Y SUS EFECTOS SOBRE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS EMERGENTES<sup>1</sup>

## Expositora e investigadora

Violeta Martínez

*Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales*

La presencia de compuestos orgánicos emergentes en cuerpos de aguas superficiales es un tema de interés ambiental que ha ganado atención durante los últimos años. Estos contaminantes, también conocidos como microcontaminantes, son especies químicas de origen antropogénico que pueden encontrarse en el agua a concentraciones muy pequeñas que oscilan entre los nanogramos y microgramos por litro. Cuando están presentes en el agua residual doméstica o industrial que será tratada por sistemas convencionales, solamente una fracción de los microcontaminantes que ingresan a la planta puede ser degradada, mientras que el resto es descargado al medio ambiente con la corriente de desechos sólidos y el efluente líquido que resulta al final del proceso de tratamiento.

Un ejemplo de este nuevo tipo de contaminación es la ocurrencia de fármacos, productos de cuidado personal, pesticidas y químicos industriales en diferentes ecosistemas acuáticos alrededor del mundo. A la fecha, se ha reportado presencia de hormonas reproductivas en aguas de Estados Unidos (Kolpin y otros, 2002), Italia (Baronti y otros, 2000), Inglaterra (Desbrow

y otros, 1998), China (Zhao y otros, 2009), Alemania, Canadá y Brasil (Ternes y otros, 1999). De igual manera, se han encontrado restos de antibacteriales, fungicidas, pesticidas y cafeína en efluentes de plantas de tratamiento y aguas superficiales de Pakistán (Saad y otros, 2017), Grecia (Papadakis y otros, 2015), Argentina (Gerónimo y otros, 2014), España (Herrero Hernández y otros, 2013) y El Salvador (Quinteros y otros, 2017). Aunque las concentraciones que han sido detectadas son muy bajas, existe una creciente preocupación internacional porque no ha logrado determinarse con exactitud el grado de afectación a la naturaleza y el nivel de riesgo que representa esta contaminación para las diferentes formas de vida que están siendo impactadas.

En una investigación conducida en el Reino Unido entre 1997 y 2011, se determinó que muchos ríos estaban siendo contaminados con desechos metabólicos de productos hormonales de consumo regular que no logran ser completamente degradados por el organismo humano y que esto había generado mutaciones en los órganos reproductivos de los peces (Environment Agency, 2002). Además, muchos

<sup>1</sup> Tesis de maestría realizada por Violeta Martínez con el apoyo de la beca Fulbright. Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales.

de los compuestos que han sido catalogados como microcontaminantes están causando alarma en varios países por su alta toxicidad; por lo mismo, existen cada vez más esfuerzos que buscan desarrollar tecnologías que permitan reducir su presencia en la naturaleza a causa de la actividad humana. Dentro de estas iniciativas, los procesos de oxidación avanzada a base de oxígeno y luz solar han surgido como un método de remoción prometedor. Bajo esta línea de investigación, una de las técnicas más estudiadas consiste en utilizar la radiación solar y el oxígeno que está naturalmente disuelto en el agua para la producción in situ de oxígeno singlete ( $^1O_2$ ), el cual es un potente oxidante que puede llegar a remover muchos microcontaminantes sin la necesidad de utilizar ningún químico. Asimismo, en algunos ensayos experimentales que se han llevado a cabo recientemente, esta técnica ha arrojado buenos resultados en la remoción de azúcares y farmacéuticos, y las reacciones químicas involucradas han logrado modelarse con bastante exactitud para un grupo limitado de compuestos (Barnett B, 2020; Hernández, 2018; Vo, 2017), planteando, de este modo, grandes avances para su optimización y desarrollo como

un nuevo sistema que puede llegar a agregarse a las etapas finales del tren de tratamientos de aguas residuales.

En esta investigación, nos hemos enfocado en caracterizar la formación de  $^1O_2$  en el agua residual y su cinética de reacción con los microcontaminantes mediante la acción de luz solar y luz ultravioleta (UV). Para ello, recolectamos muestras de agua residual tratada en la “Planta de recuperación de agua-Agua Nueva”, localizada en Tucson, Arizona, donde se tratan diariamente más de 62 millones de galones de agua residual de origen doméstico. Antes de tomar las muestras, el agua fue sometida a un sistema de filtración en serie compuesto por las etapas de ósmosis inversa y ultrafiltración (ver Figura 1) para aumentar la concentración de los microcontaminantes y acelerar su remoción. Posteriormente, las muestras fueron enriquecidas con alcohol furfural (FFA), el cual es un compuesto orgánico con características similares a algunos contaminantes emergentes que fue utilizado para medir los procesos químicos del  $^1O_2$ .

**Figura 1. Sistema de filtración utilizado para aumentar la concentración de los contaminantes emergentes presentes en el agua tratada de la “Planta de recuperación de agua-Agua Nueva”.**



Específicamente, los experimentos consistieron en añadir agua residual tratada y FFA a reactores batch de 300 mL que fueron expuestos a luz solar o UV, con el propósito de inducir reacciones químicas y recolectar muestras de 3 mL durante el proceso para medir cómo el FFA era removido por acción del  $^1\text{O}_2$  (ver Figura 2). Para estas mediciones, se utilizaron técnicas de cromatografía líquida de alta resolución, fluorescencia y espectroscopía, con las cuales fue posible determinar que la capacidad de generar

$^1\text{O}_2$  puede disminuir si el agua permanece mucho tiempo expuesta a las fuentes de luz y que la técnica es capaz de remover un promedio de 35% de FFA durante un periodo de exposición de cuatro a ocho horas tanto en luz solar como en UV. En el futuro, se espera identificar los compuestos del agua residual que generan el  $^1\text{O}_2$  y probar la efectividad de la remoción en espectros de luz a diferentes longitudes de onda para potenciar la eliminación de contaminantes emergentes.

**Figura 2. Recolección de muestras en los experimentos con luz UV (izquierda) y solares (derecha).**



## Referencias bibliográficas

**Barnett B.** (2020). *Modelling and Mechanisms for the Production of Singlet Oxygen in Ideal Systems and Wastewater Effluent Item Type text; Electronic Thesis*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10150/641671>

**Baronti, C., Curini, R., D'Ascenzo, G., di Corcia, A., Gentili, A., & Samperi, R.** (2000). Monitoring natural and synthetic estrogens at activated sludge sewage treatment plants and in a receiving river water. *Environmental Science and Technology*, 34 (24). Recuperado de <https://doi.org/10.1021/es001359q>

**Desbrow, C., Routledge, E. J., Brighty, G. C., Sumpter, J. P., & Waldock, M.** (1998). Identification of estrogenic chemicals in STW effluent. 1. Chemical fractionation and in vitro biological screening. *Environmental Science and Technology*, 32 (11). Recuperado de <https://doi.org/10.1021/es9707973>

**Environment Agency.** (2002). *The identification of oestrogenic effects in wild fish: phase II*. Environment Agency. S. E.

**Gerónimo de, E., Aparicio, V. C., Bárbaro, S., Portocarrero, R., Jaime, S., & Costa, J. L.** (2014). Presence of pesticides in surface water from four sub-basins in Argentina. *Chemosphere*, 107. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.039>

**Hernández, I.** (2018). *Photo-Transformation Mechanisms of Trace Organic Compounds by Reactive Oxygen Species Item Type text; Electronic Dissertation*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10150/631337>

**Herrero Hernández, E., Andrades, M. S., Álvarez Martín, A., Pose Juan, E., Rodríguez Cruz, M. S., & Sánchez Martín, M. J.** (2013). Occurrence of pesticides and some of their degradation products in waters in a Spanish wine region. *Journal of Hydrology*, 486. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.025>

**Kolpin, D. W., Furlong, E. T., Meyer, M. T., Thurman, E. M., Zaugg, S. D., Barber, L. B., & Buxton, H. T.** (2002). Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999-2000: A national reconnaissance. *Environmental Science and Technology*, 36 (6). Recuperado de <https://doi.org/10.1021/es011055j>

**Papadakis, E. N., Tsaboula, A., Kotopoulou, A., Kintzikoglou, K., Vryzas, Z., & Papadopoulou-Mourkidou, E.** (2015). Pesticides in the surface waters of Lake Vistonis Basin, Greece: Occurrence and environmental risk assessment. *Science of the Total Environment*, 536. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.099>

**Quinteros, E., Ribó, A., Mejía, R., López, A., Belteton, W., Comandari, A., Orantes, C. M., Pleites, E. B., Hernández, C. E., & López, D. L.** (2017). Heavy metals and pesticide exposure from agricultural activities and former agrochemical factory in a Salvadoran rural community. *Environmental Science and Pollution Research*, 24 (2). Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7899-z>

**Saad, M., Shams, D. F., Khan, W., Ijaz, A., Qasim, M., Hafeez, A., Khan, A., Baig, S. A., & Ahmed, N.** (2017). Occurrence of Selected Pesticides and PCPs in Surface Water Receiving Untreated Discharge in Pakistan. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 07 (05). Recuperado de <https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000500>

**Ternes, T. A., Stumpf, M., Mueller, J., Haberer, K., Wilken, R. D., & Servos, M.** (1999). Behavior and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants-I. Investigations in Germany, Canada and Brazil. *Science of the Total Environment*, 225 (1-2). Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00334-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00334-9)

**Vo, H.** (2017). *Transformation of Trace Organic Contaminants Involving Reactive Oxygen Species Driven by Solar Lights Item Type text; Electronic Dissertation*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10150/626333>

**Zhao, J. L., Ying, G. G., Wang, L., Yang, J. F., Yang, X. B., Yang, L. H., & Li, X.** (2009). Determination of phenolic endocrine disrupting chemicals and acidic pharmaceuticals in surface water of the Pearl Rivers in South China by gas chromatography-negative chemical ionization-mass spectrometry. *Science of the Total Environment*, 407 (2). Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.048>