

REFLEXIONES SOBRE LA EPIDEMIOLOGÍA DE AGUAS RESIDUALES Y SU IMPACTO EN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL

DANIEL DE LOS COBOS VASCONCELOS,
YOVANY CUETERO MARTÍNEZ
Y ADALBERTO NOYOLA ROBLES

Es un hecho que la mayoría de las actividades de nuestras sociedades conllevan al uso del agua y a su consecuente disposición. En algunos casos, existen redes de drenaje que colectan el agua residual de grandes áreas urbanas y la dirigen a plantas de tratamiento (PTAR) donde se pretende recuperar la calidad del líquido. Por otro lado, en sitios rurales donde no existen redes de alcantarillado se recurre a alternativas como los tratamientos descentralizados.

Los sistemas de tratamiento de agua residual convencionales están pensados para reducir los contaminantes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en las mismas. Utilizando ciertos trenes de tratamiento es posible eliminar la mayor parte de estos contaminantes, de tal manera que se cumpla la normatividad de descarga en aguas superficiales o subterráneas y se disminuya el impacto producido tanto en los ecosistemas como en las poblaciones humanas a donde llegan dichas descargas.

El tren de tratamiento se refiere a un conjunto de procesos conectados que van separando, transformando o eliminando los diferentes contaminantes del agua residual. Los procesos biológicos, implementados masivamente en la mayoría de las PTAR del planeta, son responsables de la disminución de la materia orgánica disuelta y particulada; esto depende del tipo de proceso, pueden alcanzarse eficiencias de remoción arriba de 80% con respecto a la concentración a la entrada del proceso. Estos procesos son llevados a cabo por microorganismos que utilizan los contaminantes del agua residual como nutrientes, lo que les permite crecer y multiplicarse. Posteriormente, estos microorganismos son separados del agua tratada, una parte puede reincorporarse al proceso biológico para mantener una concentración determinada de microorganismos, mientras que otra parte puede llevarse a un proceso de compostaje o digestión, aerobia o anaerobia, que disminuya la cantidad de microorganismos, por tanto, el volumen que ocupan en el lodo. En algunos casos, es posible aprovechar los subproductos generados durante el proceso, como el biogás producido durante la digestión anaerobia.

En años recientes, se ha observado que estos procesos han sido el escenario donde ocurre el fenómeno de transferencia de la resistencia a antimicrobianos entre microorganismos (Cuetero-Martínez *et al.*, 2022; Jankowski *et al.*, 2022; Machado *et al.* 2023). Dicho fenómeno ocurre gracias a que los microorganismos tienen la capacidad de intercambiar información entre ellos cuando se transfieren genes específicos. Los genes son un conjunto de moléculas compuestas de ADN (ácido desoxirribonucleico) que contienen la información necesaria para realizar todas las funciones que permiten a los microorganismos sobrevivir. Estos genes (o genoma, si hablamos de toda la información genética de un microorganismo), son heredados a las siguientes generaciones durante su replicación (reproducción microbiana). Sin embargo, la transferencia de genes también puede realizarse entre diferentes especies de microorganismos, por lo que la información genética que permite a una especie determinada consumir un sustrato o producir una proteína específica, puede ser obtenida por otros microorganismos diferentes.

Esta es la principal razón por la que se considera a las plantas de tratamiento de aguas residuales zonas o puntos “calientes” con respecto a la generación de bacterias resistentes a antibióticos. Esto ha preocupado bastante, sobre todo porque la resistencia transferida puede ser no sólo contra uno o dos tipos de compuestos antimicrobianos, sino varios de manera paralela, generando las llamadas “bacterias multirresistentes”. Si estas bacterias son patógenas e infectan a un ser vivo, será imposible erradicarlas usando antimicrobianos convencionales.

Para combatir la transferencia de la resistencia y la diseminación de bacterias resistentes a antimicrobianos, se han establecido estrategias a diferentes niveles. Por ejemplo, pensando en el uso de los medicamentos que contienen antimicrobianos por parte de las poblaciones, se puede controlar su distribución y consumo (Ito *et al.*, 2022). Otra estrategia, desde el punto de vista técnico, conlleva la detección y control de las salidas de las PTAR para evitar la inoculación y dispersión en ambientes y ecosistemas. Sin embargo, esta estrategia implica tener las herramientas para dar seguimiento a los compuestos antimicrobianos y a las bacterias resistentes.

Estas herramientas incluyen equipos analíticos especializados y técnicas basadas en la detección y diferenciación de estructuras químicas, como la cromatografía de líquidos o gases con detectores de espectrometría de masas. Otras técnicas son las relacionadas con la detección de genes, usando la reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real o la secuenciación de alto desempeño, especialmente útiles cuando se quiere relacionar la identidad de cada microorganismo de las comunidades microbianas con la persistencia de genes de resistencia a antimicrobianos. Sobre decir entonces, que resulta indispensable contar con personal altamente capacitado, que colecte y analice

las muestras, organice la información y provea informes a los encargados de las PTAR o de los sistemas de gestión de agua.

Con esto en mente, puede deducirse que los costos de operación de las PTAR que incorporen este tipo de estrategia se elevarán bastante, debido a la adquisición de los equipos y la contratación del personal especializados. Pueden evaluarse como alternativas la tercerización de los análisis o la de centralizar los análisis de varias PTAR en un laboratorio común.

Por otro lado, los antimicrobianos no son los únicos agentes que pueden representar un problema para la salud y el equilibrio ecológico. Como se mencionó anteriormente, los microorganismos patógenos con la capacidad de resistir varios antibióticos son una amenaza que se cierne sobre los sistemas de salud. Su dispersión y multiplicación en ciertos ambientes pueden provocar nuevos focos de epidemias o pandemias como la que hemos sufrido recientemente con el virus SARS-CoV-2. El seguimiento de estos patógenos a lo largo y a la salida de las PTAR no forma parte de las normativas actuales, por lo que su implementación sería de vital importancia como medida preventiva. Este enfoque es llamado Epidemiología de las Aguas Residuales, el cual, puede aplicarse no sólo en los efluentes, sino también en la red de alcantarillado con el objetivo de predecir brotes de enfermedades por regiones. Esto es posible en aquellas infecciones que requieren tiempo de incubación y propagación en el huésped, tal que permite que su presencia sea detectada antes de producir los primeros síntomas.

Para ello, los límites de detección de las metodologías deben ser lo suficientemente bajos para que el agente patógeno, que se encuentra muy disperso y con poca cantidad en el agua residual, pueda ser identificado efectivamente. Ahora que se han evidenciado los peligros que existen en estos entornos, hasta

hace poco ignorados, ha crecido la necesidad de nuevas tecnologías rápidas y baratas que hagan frente a la alta demanda en épocas de crisis. Algunas de estas tecnologías han sido pensadas para el uso de personas no expertas que rápidamente puedan obtener un resultado útil (Mao *et al.*, 2021; Nieuwkerk *et al.*, 2020; Nißler *et al.*, 2020; Yoo y Lee, 2016).

Sin embargo, su implementación a gran escala ha sido complicada debido a que el agua residual es una matriz bastante compleja y algunos de sus componentes pueden causar interferencia en las mediciones. Otra desventaja es que muchas de ellas sacrifican la cuantificación o la precisión para obtener un resultado rápido, dejando mayor margen de error al momento de discriminar un resultado positivo o negativo. Esto también va de la mano con la falta de comparación con métodos establecidos, por lo que la validación de estas metodologías es un paso obligado antes de proponerlas como sustitutas de las tecnologías convencionales.

Recientemente, se ha realizado el seguimiento de contaminantes químicos y biológicos por diversos investigadores en diferentes sitios (Li *et al.*, 2022; Munk *et al.*, 2022; Nguyen *et al.*, 2021; Rodríguez *et al.*, 2021), todos coinciden en que los efluentes de las PTAR contienen cantidades significativas de bacterias resistentes a antimicrobianos (BRA) y genes de resistencia a antimicrobianos (GRA). Esto ocurre aun en los trenes de tratamiento con procesos de sanitización posteriores al tratamiento secundario o terciario. Un caso especial son las PTAR que cuentan como proceso de pulimento de membranas de ultra o nanofiltración. Sin embargo, esto sólo controla hasta cierto punto la diseminación de las BRA, no así para los GRA, que siguen siendo liberados y pueden tener interacciones con otros microorganismos fuera de la PTAR de origen. Li y colaboradores (2022) concluyen que las PTAR deben contar



Figura 1. Planta de tratamiento de agua

al final con un sistema de oxidación avanzada que permita, bajo ciertas condiciones, eliminar por completo las BRA, GRA y los compuestos químicos como antimicrobianos que no son removidos en los trenes de tratamiento convencionales. La ventaja de este sistema es que permite desinfectar el efluente y cumplir con normatividades de descarga de efluentes a cuerpos de agua y/o infiltración de acuíferos.

Con esto en mente, sabemos que en México tenemos importantes retos por delante en materia de agua y saneamiento. Uno de los más importantes es que las PTAR del país puedan cumplir con la norma de reciente publicación (NOM-001-SEMARNAT-2021) la cual elevó los estándares de calidad de las descargas de las PTAR. Aunque no se consideran a los contaminantes emergentes o patógenos potenciales, algunas de las medidas para mejorar el desempeño de las PTAR pudieran servir para alcanzar efluentes libres de BRA, GRA y algunos grupos de contaminantes emergentes. Sin embargo, esto no puede asegurarse hasta realizar las pruebas necesarias e implementar sistemas de seguimiento que nos den la evidencia suficiente para tomar las decisiones apropiadas.

En una investigación reciente realizada por el Grupo de Investigación en Procesos Anaerobios liderado por el Dr. Adalberto Noyola Robles (Coordinación de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería) y auspiciada por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, se llevó a cabo el muestreo de cuatro PTAR de la Ciudad de México a la entrada y salida durante la temporada de lluvias y estiaje entre septiembre de 2020 a abril de 2021. Aunque los parámetros convencionales cumplían en su momento con la normatividad vigente, se observó que algunos antibióticos seleccionados como indicadores no fueron removidos después de ser sometidos a los diferentes procesos de las PTAR. Las BRA y algunos patógenos potenciales fueron detectados por siembra en placa de agar

diferenciales y secuenciación masiva en los lodos generados de las PTAR donde se identificaron 22 patógenos y 30 BRA (Cuetero-Martínez *et al.*, 2023). El problema principal con las PTAR es que el funcionamiento de los procesos de estabilización de lodos residuales no es el adecuado, por lo que hay un riesgo alto de diseminación de BRA, GRA y contaminantes emergentes en ecosistemas y poblaciones humanas.

Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de crear un programa de evaluación y seguimiento basado en epidemiología de las aguas residuales que permita obtener información valiosa y pertinente para la toma de decisiones efectiva en materia de salud pública. La detección oportuna de patógenos y contaminantes emergentes puede ayudar a implementar medidas de prevención a nivel local y evitar que los brotes de enfermedades se salgan de control o mitigar los efectos de la exposición a mediano y largo plazo de diferentes contaminantes emergentes como los antimicrobianos en humanos, animales y plantas. |

Referencias



https://iingen-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/ddeloscobosv_iingen_unam_mx/Ec85LuzejSVakiUxRdiQm5MBLT-ZWE4GRK2at73Ht31p5UA?rttime=duAKzb4D20g