

Abstract

Emerging contaminants have become a common topic of interest not only for the scientific community, which has focused on optimizing methods for their determination and elimination but also for the community in general, since they produce a series of adverse effects on the environment, negatively impacting ecosystem services and even directly affecting human health. The presence of persistent organic compounds, heavy metals, and, more recently, micro and nanoplastics, as well as the proven impact on some natural environments, have generated new directions in environmental research and in the development of technologies, both for the substitution of materials and for methods of determination, control, and treatment. In this essay, some basic aspects related to emerging pollutants are briefly discussed, as well as the reasons why they constitute a great challenge to be addressed from the scientific, technological and social points of view worldwide.

Keywords: contamination, emerging contaminants, pollution, microplastics.

Resumen

Los contaminantes emergentes se han vuelto un tema común y de interés no sólo para la comunidad científica que se ha enfocado en optimizar métodos para su determinación y eliminación; sino para la comunidad en general, puesto que producen una serie de efectos adversos en el ambiente, impactando negativamente los servicios ecosistémicos e incluso pudiendo afectar de forma directa la salud humana. La presencia de compuestos orgánicos persistentes, metales pesados y, más recientemente de micro y nanoplasticos; así como el impacto comprobado sobre algunos medios naturales han generado nuevas direcciones en la investigación ambiental y en el desarrollo de tecnologías, tanto de sustitución de materiales, como de métodos de determinación, control y tratamiento. En este ensayo se plantean brevemente algunos aspectos básicos relacionados con los contaminantes emergentes, así como las razones por las cuales estos constituyen un gran reto a ser abordado desde el ámbito científico, tecnológico y social a nivel mundial.

Palabras clave contaminación, contaminantes emergentes, polución, microplásticos.

Los contaminantes emergentes: un nuevo reto científico, tecnológico y social para Venezuela

(Emerging pollutants: A new scientific, technological and social challenge for Venezuela)

Adriana Gamboa

Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián”

adrianacgam@gmail.com

Recibido: 17/05/2022; Aceptado: 20/06/2022

Introducción

El tema de la contaminación ambiental ha sido ampliamente estudiado a través del tiempo por la humanidad. Específicamente, por la comunidad científica, puesto que, cualquier actividad humana (por ejemplo: prácticas agrícolas, extracción y producción de minerales, producción y utilización de energía, construcción, transporte, manufactura y otras) provoca un impacto en el ambiente, pudiendo originar problemas que alcanzan una escala global. La utilización de los recursos naturales, los cambios en los sistemas de transporte, la sobrepoblación (en 2021 el planeta alcanzó 7,8 billones de personas) y, la evolución tecnológica, aunque beneficiosa, han afectado el equilibrio del planeta.

El término contaminación implica la presencia de una sustancia, independientemente de su naturaleza, por encima de los niveles base que son característicos en una determinada esfera geoquímica o geosfera que corresponde a cada una de las capas que constituyen el planeta Tierra (litosfera, hidrosfera, atmósfera, criósfera, biosfera; Hounslow, 1995). La polución, por su parte, ocurre cuando las sustancias contaminantes originan efectos biológicos adversos sobre las comunidades, lo cual se relaciona con un carácter de intensidad, aunque algunas veces puede pasar inadvertida (Manahan, 2000; Chapman, 2007). Un contaminante es entonces, una sustancia que afecta un medio determinado. Ahora bien, los contaminantes emergentes constituyen un conjunto de sustancias que se han detectado en el ambiente recientemente, y que no están incluidos en los programas de monitoreo de rutina o incluso no se encuentran regulados o estipulados en normativas legales; cuyo comportamiento en el medio y sus potenciales efectos toxicológicos sobre la salud de los seres humanos y los organismos acuáticos no han sido claramente establecidos (Anderson, Ottesen & Volden, 2004; Tondera et al., 2017). Por ello, los contaminantes emergentes se han convertido en las últimas décadas en un problema ambiental de gran magnitud (Poynton & Robinson, 2018; Taheran, Naghdi, Brar, Verma, & Surampalli, 2018). Una de las fuentes principales de los compuestos emergentes son las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, las cuales disponen las aguas tratadas en cuerpos de aguas superficiales, pudiendo alcanzar entonces ríos, aguas subterráneas, suelos, sedimentos, mares y océanos (Tondera et al., 2018).

La identificación y cuantificación de este tipo de contaminantes en matrices complejas se debe al desarrollo de nuevos equipos y métodos de análisis que han permitido obtener límites de detección a niveles traza (concentraciones de mg/L y ng/L). Esto como respuesta al interés en detectar todos los contaminantes que se han introducido en el ciclo del agua debido a la actividad humana (Tondera et al., 2017). Las técnicas incluyen, por ejemplo, cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS, siglas en inglés), cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (HPLC-MS, siglas en inglés), infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR, siglas en inglés), espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS, siglas en inglés), ablación laser con plasma de acoplamiento (LA-ICP-MS, siglas en inglés), entre otros. Debido al desarrollo de tecnología de punta a nivel mundial se ha demostrado la presencia de contaminantes (a escala micro y niveles traza) de naturaleza orgánica e inorgánica en aguas superficiales, residuales o incluso depuradas (Por ejemplo: Desrosiers, 2014; Mohamed and Paleólogos, 2018; González, Muga, Rodríguez, Rodríguez, Blanco, 2018). En vista de que la información sobre este tipo de contaminantes no es de amplia divulgación y del papel determinante que tenemos como sociedad para contribuir en la conservación del planeta, en este trabajo se presenta una revisión breve referente algunos contaminantes emergentes, los medicamentos y los materiales plásticos,

resaltándose la necesidad de diseñar acciones, programas y estrategias para la reducción de estos contaminantes en el ambiente, así como del desarrollo/optimización de nuevas metodologías de determinación, el establecimiento de límites o umbrales y, para el tratamiento y recuperación de los entornos afectados.

Contaminantes que se consideran emergentes

Los contaminantes emergentes pueden dividirse en dos tipos, inorgánicos y orgánicos, los cuales se originan a partir de múltiples productos, la mayoría de uso cotidiano, que no se han catalogado o reconocido como peligrosos, tales como: medicamentos veterinarios y humanos, productos de cuidado personal y belleza, nanomateriales, plastificantes, tensoactivos, pesticidas y herbicidas, nicotina, drogas, psicofármacos y estimulantes, plásticos, entre otros (Tejada, Quiñonez & Peña, 2014; de Granda-Orive, de Granda-Beltrán & Baz-Lomba, 2018; González, Muga, Rodríguez, Rodríguez, Blanco, 2018). Al no tenerse una conciencia real del impacto que estos productos pueden ocasionar, sino un enfoque exclusivo en el bienestar que aportan a la sociedad, su consumo resulta masivo; por ende, entran de una forma sostenida al ambiente sin control alguno. Por ello, los ecosistemas son incapaces de asimilarlos, ya sea debido a su naturaleza o, por la cantidad que llega a los entornos naturales. Por lo tanto, pueden causar la afectación irreversible de los mismos poniendo en riesgo su preservación e incluso causar su desaparición (por ejemplo, degradación de los cuerpos de agua, muerte de especies).

En otro orden de ideas, las aguas residuales de origen urbano contienen tanto las aguas industriales no tratadas, las aguas industriales luego de tratamiento que son descargadas en las redes cloacales (que en principio deben cumplir con lo establecido en el decreto 883), las aguas residuales domésticas (que provienen de inodoros, la higiene personal y, la preparación de alimentos), las que se emplean en la limpieza urbana e incluso las de origen pluvial que se recogen en el alcantarillado urbano. Es decir, que provienen de diferentes usos y poseen diferentes características. En este sentido, se debe tomar en cuenta que las plantas de tratamiento que existen en Venezuela, por ejemplo, no han sido objeto de mantenimiento, ampliaciones o adaptaciones necesarias según el crecimiento poblacional, la dinámica urbana actual, la aparición de nuevos materiales y productos, que incluyen los contaminantes emergentes, los nuevos hallazgos a nivel de contaminantes y el desarrollo de técnicas e instrumental de análisis, ocasionando que los contaminantes emergentes no sean reducidos o eliminados durante los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Cabe destacar que, algunos contaminantes emergentes pueden llegar a las aguas residuales en su estado original. Sin embargo, otros lo hacen en forma degradada debido a: (1) su exposición a las condiciones ambientales durante su trayectoria desde la fuente de origen hasta la zona de acumulación; (2) su interacción con otras sustancias y (3) cambios físicos durante su transporte, ya sea por escorrentía, canales o tuberías, desde la fuente de origen hasta su disposición final. De hecho, en el caso de los fármacos algunos metabolitos son muy resistentes y esto sin duda, además de dificultar la detección y cuantificación, implica mayores retos para proponer un tratamiento o combinación de estos que permita la reducción de la concentración de los contaminantes. De igual forma, los contaminantes emergentes pueden presentar altas tasas de transformación/remoción. Es decir, no tienen tiempos de residencia altos. Sin embargo, su introducción continua al ambiente puede generar efectos negativos sin necesidad de que persistan prolongadamente en el mismo (Ferreira et al., 2016). Debido a las propiedades fisicoquímicas y ecotoxicológicas, estas últimas mayormente desconocidas para la mayoría de estos compuestos, y a la complejidad de las matrices ambientales hacer predicciones sobre su comportamiento, los efectos en los organismos acuáticos y en la salud humana es muy difícil (Tejada, Quiñonez, & Peña, 2014; Gavrilescu et al., 2015).

Los fármacos como contaminantes

En el caso de los fármacos y las drogas de abuso pueden encontrarse en su forma original y/o metabolizada en los cuerpos de agua (González, Muga, Rodríguez, Rodríguez, Blanco, 2018). En la Tabla 1, se presentan algunos ejemplos sobre productos farmacéuticos en cuerpos de agua. Como se observa, se ha determinado la presencia de drogas lícitas e ilícitas, tales como diazepam, lorazepam, cannabis, metadona y cocaína. La presencia de fármacos en el medio acuático puede ser mayor en las localidades donde no se requiere receta médica para su compra lo que incrementa su consumo por la automedicación. Las vías de ingreso de los fármacos al ambiente no sólo se relacionan con la excreta y la metabolización parcial de los mismos, sino también con su disposición o vertido directo cuando se alcanza la fecha de expiración (Deblonde et al., 2011) y se eliminan arrojándolos a la basura a las tuberías. Es de resaltar que, aunque se trate de concentraciones muy bajas, y se pueda pensar que no afectará en gran escala al ambiente, es necesario considerar su ubicuidad y su toxicidad crónica que puede ser transferida entre generaciones (Nazaret & Aminov, 2014), lo que altera indudablemente la vida en los ecosistemas y, posiblemente podría tener una influencia en la salud de las comunidades que utilicen los servicios ecosistémicos. Los contaminantes farmacéuticos alteran el sistema endocrino, bloqueando y/o perturbando las funciones hormonales de los organismos y los seres humanos y de otros organismos, aunque se

encuentren en bajas concentraciones. Adicionalmente, algunos antibióticos causan resistencia en patógenos bacterianos (por ejemplo: penicilina, sulfonamidas y tetraciclina (Tejada et al., 2014).

Tabla 1. Ejemplos de algunos contaminantes emergentes

Contaminantes emergentes (vía de ingreso)	Ejemplos de sustancias detectadas en cuerpos de agua			
<p>Medicamentos</p> <p>Estos pueden ser desechados a la basura, inodoro o desagüe.</p> <p>O administrados a los animales, siendo excretados a través de la orina y heces; y arrastrados por las lluvias.</p>	<p>(1)Antibióticos</p> <p>Sulfametoxazol</p> <p>Ciprofloxacino</p> <p>Norfloxacino</p> <p>Trimetropina</p> <p>Amoxicilina</p>	<p>(2)Ansiolíticos (RMB)</p> <p>Alprazolam</p> <p>Bromazepam</p> <p>Diazepam</p> <p>Lorazepam</p>	<p>(3)Antidepresivos</p> <p>Fluoxetina</p> <p>Fluvoxamina</p> <p>Sertralina</p>	<p>(4)Antinflamatorios</p> <p>Ibuprofeno</p> <p>Ketoprofeno</p> <p>Naxopreno</p> <p>Diclofenaco</p> <p>Desketoprofeno</p>
	<p>(5)Analgésicos (RMA)</p> <p>Paracetamol</p> <p>Tramadol</p> <p>Ibuprofeno</p> <p>Metamizol</p>	<p>(6)Anestésicos (RMA)</p> <p>Propofol</p> <p>Lodocaína</p> <p>Bupivacaína</p>	<p>(7)Antilipídicos (RMA)</p> <p>Gemfibrozilo</p> <p>Colestiramina</p>	<p>(8)Hormonas</p> <p>Estrógenos</p> <p>Progestina</p> <p>Hidrocortisona</p>
<p>Drogas</p> <p>Empleadas por los humanos para medicación o recreación.</p>	<p>(1)Anfetamina</p> <p>(2)Cannabis y sus metabolitos</p> <p>(3)Metabolito de la metadona</p>			

Se incluyen las de uso legal, pero principalmente las ilegales	(4)Cocaína y su metabolito
--	----------------------------

Leyenda:

RMB: remoción muy baja de 0-20%; RB: remoción de 20-50%; RM: remoción media 50-70%; RA: remoción alta 70-85%; RMA: remoción muy alta 80-100% Antibióticos (RB): sulfametoxazol, ciprofloxacino, norfloxacino, trimetropina, amoxicilina.

Plásticos (micro y nanoplásticos)

La producción masiva del plástico marcó su inicio en la Segunda Guerra Mundial, y el comienzo de su consumo intensivo a escala global se ubica entre los años 1960-1970 (Plastics Europe, 2019; Blair-Crawford & Quinn, 2016), pasando a ser el sustituto de otros materiales (vidrio, metal y la madera) hasta lograr prácticamente su desplazamiento, sobre todo en el caso de envasado y empaquetado de productos. Su versatilidad, durabilidad, bajo coste de producción y precios de mercado altamente competitivos contribuyeron a que en la vida cotidiana los seres humanos utilicemos frecuentemente el plástico. Por ello, el crecimiento de esta industria ha sido indetenible y con tendencia exponencial (Figura 1; Plastics Europe, 2019; VishnuRadhan et al., 2019). Esta producción a la que se suma el crecimiento poblacional y la gestión inadecuada de los residuos y desechos plásticos se ha traducido en un problema que requiere atención urgente.

Aunque al tratarse de una amplia gama de compuestos (polímeros, pigmentos, colorantes y aditivos), diferentes compartimientos ambientales, sociedades y modelos económicos resulta bastante complejo. El hecho de que los de plásticos son empleados desde hace años con diferentes propósitos en la sociedad, ha influido en que muchas de las cosas que utilizamos a diario son de plástico, y si se hace un pequeño registro de lo que se tiene en los hogares probablemente nos sorprenderíamos. Por ello, debido a sus ventajas y versatilidad y, más aún si se consideran sus aplicaciones tecnológicas que incluyen el área de la salud y las telecomunicaciones, sería casi imposible dejar de utilizarlos. Sin embargo, se podría reducir su consumo, aplicar la reutilización o el reciclaje para minimizar la entrada de desechos plásticos al ambiente mientras se encuentran alternativas, nuevos materiales, más amigables con el ambiente.

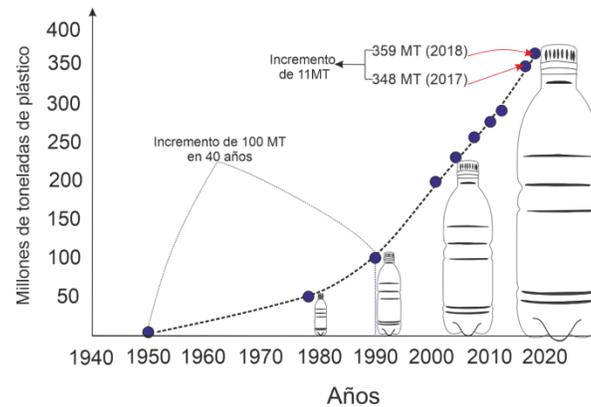
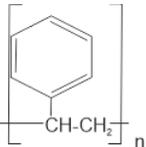
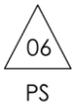
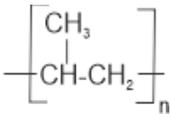
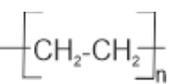
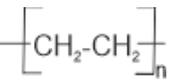
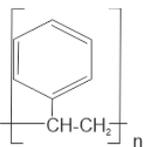
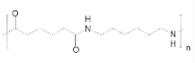


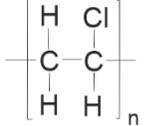
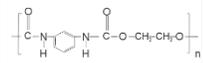
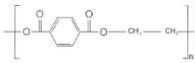
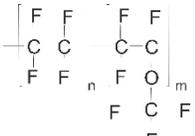
Figura 1. Ilustración del crecimiento exponencial de la producción de plástico a nivel mundial.

En la Tabla 2 se presentan algunas de las características de los polímeros base más comunes empleados en la industria del plástico, señalando adicionalmente sus usos, la posibilidad de que puedan flotar o hundirse en medios acuáticos, la simbología correspondiente de acuerdo con la factibilidad de reprocesamiento (Norma ASTM D7611, 2013) y algunos efectos sobre la salud. En este sentido, se observa por ejemplo que, según la densidad del material polimérico, el poliestireno expandido, el polipropileno, y el polietileno tanto de baja como de alta densidad generalmente flotarán en el agua marina, en cambio la poliamida y el PVC estarán asociados a los sedimentos sumergidos.

Tabla 2. Propiedades, usos y efectos de los polímeros más comunes. Información integrada de Barbosa et al. (2019); Li et al. (2016); Blair-Crawford & Quinn (2016); GESAMP (2016); Anadry (2011).

Polímero	Densidad específica (g/cm ⁻³)	Fórmula	Algunos usos	Símbolo y factibilidad	Efectos en la salud
Poliestireno expandido	0,02-0,64		Cavas, contenedores para alimentos	 Difícil de reciclar	Irrita los ojos, la nariz y la garganta y puede provocar mareos y pérdida de conocimiento. Migra a los alimentos y se

					almacena en la grasa corporal.
Polipropileno	0,83-0,85		Botellas, engranajes, tapas, bolsas, muebles de jardín, loncheras, contenedores, cuerdas, vasos y tazas	 Factible de reciclar	
Polietileno de baja densidad	0,91-0,93		Bolsas, láminas y películas, o contenedores, botellas, microesferas y productos abrasivos	 Factible de reciclar	
Polietileno de alta densidad	0,94-0,96		Envases para detergentes, bebidas	 Fácil de reciclar	Libera sustancias químicas estrogénicas que cambian la estructura de las células humanas
Agua de mar densidad 1,025 g/cm³					
Poliestireno	1,04-1,09		Material aislante, cajas de CD, cubiertos, imitación de cristal	 Difícil de reciclar	Irrita los ojos, la nariz y la garganta y puede provocar mareos y pérdida de conocimiento. Migra a los alimentos y se almacena en la grasa corporal.
Poliamida	1,13-1,15		Fibras, líneas de pesca, sogas o cuerdas	 Muy difícil de reciclar	Cáncer, alergias cutáneas, mareos, dolores de cabeza, dolores en la columna vertebral y disfunciones del sistema
Solución saturada de NaCl (cloruro de sodio) densidad 1,15 g/cm³					

Polivinilcloruro	1,16-1,30		Tuberías y accesorios, válvulas, ventanas	 PVC	Muy difícil de reciclar	Cáncer, defectos de nacimiento, cambios genéticos, bronquitis crónica, úlceras, enfermedades de la piel, sordera, problemas de visión, indigestión y disfunción hepática
Poliuretano	1,20		Esponjas rígidas y flexibles para aislamiento y muebles		Muy difícil de reciclar	
Polycarbonato	1,20-1,22		Discos compactos, lentes, materiales de construcción, ventanas de seguridad,		Muy difícil de reciclar	Alternancia de la función hepática, cambios en la resistencia a la insulina, el sistema reproductivo y la función cerebral
Polietilentereftalato	1,37		Contenedores de maní, botellas de agua, bandejas para galletas, cinta de embalaje	 PET	Fácil de reciclar	Potencial carcinógeno
Solución saturada de NaI (yoduro de sodio) densidad 1,8 g/cm³						
Politetrafluoroetileno	2,2		Teflón, materiales de aislamiento		Muy difícil de reciclar	

La presencia de plástico en los entornos naturales se ha demostrado en aguas marinas de todo el planeta. Por ejemplo en aguas de Qatar Castillo et al. (2016) reportaron una concentración de

microplásticos promedio de 0,71 partículas/m³, identificándose 30 polímeros, entre los cuales destacan: polipropileno, polietileno de baja densidad, polietileno, poliamida, polimetilmetacrilato, entre otros. En el Mar de Bohai (China) se determinaron niveles más elevados en el contenido de microplásticos entre 5 y 15 m en la columna de agua, siendo menor el contenido de fibras en las aguas superficiales que profundas (Dai et al., 2018). En el caso de sedimentos costeros, al sur del mar Amarillo y al este del mar de China fueron analizadas muestras de sedimentos, resultando un contenido promedio de $13,4 \pm 0,6$ partículas/100 g de peso seco, principalmente fibras con composición dominada por polietileno (PE) identificado por micro FTIR (Zhang et al., 2019). Al sur de la India, el análisis de 28 muestras de sedimentos permitió identificar la presencia mesoplásticos en (65% de las muestras), microplásticos (18% de las muestras) y macropásticos (17% de las muestras), siendo la composición polimérica identificada por FTIR: 79% cloruro de polivinilo (PVC), 14% PE y 7% nylon (Vidyasakar et al., 2020). Por otra parte, en el Caribe colombiano, fue realizada una comparación del contenido de microplásticos de origen primario y secundario, hallando que su distribución depende de la época del año y que los polímeros mayormente identificados por FTIR fueron PE y PP (Acosta-Coley et al., 2019). Asimismo, se han detectado microplásticos en organismos de consumo humano, ya sea cultivados o en entornos naturales tales como bivalvos (Van Cauwenberghe, 2014), peces y crustáceos.

Aún existen varios países de Latinoamérica y el Caribe, en los cuales aún no se cuenta registros o reportes en revistas indexadas sobre el contenido y/o las características de las partículas plásticas que están presentes en los diferentes compartimientos ambientales (aguas, organismos o sedimentos). Sin embargo, se está trabajando al respecto, aunque no a gran escala. Algunos resultados preliminares se han presentado en congresos nacionales, en los cuales se ha identificado fragmentos, fibras, gomas espumosas y láminas de varios colores, principalmente constituidas por polipropileno, poliestireno y polietileno en dos playas del estado Sucre (Gamboa et al., 2019); y en las costas del lago de Maracaibo se estableció que uno de los principales contaminantes fue el polietileno (Bracho et al., 2021). Por otra parte, a nivel de experimentos de laboratorio Grillo et al. 2020 analizaron el comportamiento del coral *Porites porites* en presencia de microesferas de poliestireno, hallando que esta especie es capaz de consumir este plástico en períodos de exposición de 96 horas. No obstante, es necesario llevar a cabo más estudios que permitan conocer los niveles de la contaminación plástica en otras zonas del país, así como incorporar otros compartimientos ambientales terrestres en los cuales se ha venido documentando la presencia de estos contaminantes. Así, como ensayos experimentales para conocer los posibles efectos tóxicos de la ingesta de diferentes plásticos y varias especies marinas.

Este tema de investigación está siendo abordado por diferentes grupos de investigación:(1) el Instituto Oceanográfico de Venezuela de la Universidad de Oriente; (2) la Universidad de Oriente, núcleo Nueva

Esparta, (3) la Universidad del Zulia, (2) la Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre y (5) la Fundación La Tortuga, quienes trabajan de forma independiente y conjunta (en algunos momentos), en el levantamiento de información en los estados Sucre, Zulia, Nueva Esparta y Anzoátegui. No obstante, se espera que se continúe expandiendo el estudio de basura marina y microplásticos en resto del país, tomando en consideración la extensión costera. Por otra parte, se destaca la necesidad de implementación de programas educativos indispensables para el fomento de la cultura ambiental nuestro país que involucre a los científicos, la industria y empresas, las organizaciones ambientales, las recicladoras, las instituciones educativas y, por supuesto a todos los ciudadanos para la generación de una conciencia ambiental colectiva.

Eliminación de los contaminantes emergentes

Pese a los esfuerzos a nivel internacional para la remediación o tratamiento de los entornos afectados, el problema principal es que la eliminación de este tipo de sustancias es compleja y difícil a corto plazo (Wilkinson et al., 2017), más aún si que considera su dispersión (y ubicuidad) en la aguas fluviales y marinas a diferentes profundidades, en sedimentos sumergidos y marinos, suelos y aire. En este sentido, existen diferentes propuestas para intentar darle solución a esta situación y, siguen apareciendo nuevas ideas a medida que se conoce más sobre el contenido y las características de los materiales plásticos presentes en el ambiente y sobre los provenientes de la industria farmacéutica.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales son una fuente puntual de fármacos y plásticos hacia los cuerpos de agua. En la mayoría de los casos estas tienen un arreglo secuencial convencional de tratamientos físicos, químicos y biológicos (desbaste, bombeo, tamizado, desarenado-desengrase, decantación primaria, tratamiento biológico decantación secundaria, tratamiento de lodos y otros; Metcalf et al., 2003), que depende directamente de las características de la diada agua cruda/agua tratada, y pueden minimizar o eliminar una parte de los contaminantes presente, incluyendo los contaminantes emergentes. Sin embargo, estos últimos no son eliminados en su totalidad, ya que no han sido diseñadas para tratarlos, pasando de forma desapercibida a los cuerpos receptores y esparciéndose en el ambiente.

Las plantas de tratamiento actuales están diseñadas principalmente para eliminar o reducir la carga orgánica de las aguas residuales, reportada por la demanda química de oxígeno (cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica) y/o demanda bioquímica de oxígeno(cantidad de oxígeno que requieren las bacterias para estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas (Sawyer

et al. 2001) y, otros tipos de contaminantes, especialmente los nutrientes y, algunos otros que se encuentran normas oficiales de cada país, lo que implica que se deben monitorear con regularidad. En el caso de Venezuela se emplea el decreto 883 Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquido del año 1995, la cual evidente no contempla para efectos de vertido de los contaminantes emergentes que se han abordado en esta revisión. Por ello, no se conoce de los niveles de concentración de ellos en el efluente final, incluso luego de la aplicación de la secuencia de tratamientos físicos, químicos y biológicos. Esta situación, incluso puede poner en duda la posible reutilización de las aguas residuales tratadas, si no se garantiza su inocuidad y, deja claro que se requieren procesos complementarios avanzados de depuración de las aguas residuales, tales como oxidación avanzada, nanofiltración, electrocoagulación, tratamientos biológicos avanzados (Mishra et al., 2022; Ghosh & Chakraborty, 2021; Sánchez-Polo, 2009; Bila & Dezotti, 2007), y otros que pudieran inclusive surgir a medida que se conozca más sobre el estado de la contaminación de los sistemas, del comportamiento de estos contaminantes y sus efectos en los ecosistemas y la salud humana.

En América Latina el 70% de las aguas residuales vuelven a los cuerpos de agua sin ser tratadas. En países como Argentina y Colombia, por ejemplo, menos del 20% de las aguas residuales reciben un tratamiento previo antes de su descarga (Yee-Batista, 2013). La adecuación de los procesos de depuración y la incorporación de tratamientos avanzados parecen ser el camino a seguir para contrarrestar este problema global. No obstante, los cambios en las instalaciones y procesos, requieren de la capacitación y actualización de todo el recurso humano involucrado. Todo esto implica una inversión económica elevada que incrementaría el gasto público. Adicionalmente, deben tenerse en cuenta los gastos asociados a reactivos, materiales y equipos de laboratorio, que dependerán de las características que posean las aguas de entrada (crudas) y de salida (tratadas), el tipo de disposición final y/o reutilización, los volúmenes de trabajo, entre otros aspectos, lo cual constituye un verdadero reto tecnológico, económico y social para los países en vías de desarrollo, como en el caso de Venezuela.

Consideraciones finales

1. La presencia de contaminantes provenientes del uso masivo del plástico y de medicamentos ha sido demostrada en varias localidades del planeta, aunque hasta ahora se carezca de protocolos estandarizados para la toma de muestras en los diferentes compartimientos ambientales y, de análisis de laboratorio optimizados y estandarizados que permitan

comparaciones y, la posibilidad a corto plazo de establecer valores o límites permisibles a corto plazo.

2. El conocimiento la contaminación por plásticos y fármacos, así como los protocolos de toma de muestras y análisis son indispensables para aplicar los ajustes necesarios en las normativas de calidad de agua, ya sea para consumo humano, o para la disposición final en el caso de aguas residuales, así como las de calidad de aire. No obstante, es importante científicos e innovadores a nivel mundial se hayan abocado a trabajar desde sus áreas de experticia para proponer protocolos de análisis, mostrar resultados sobre la abundancia y/o concentración de los estos contaminantes en diferentes medios e incluso diseñado y probado métodos de remediación a diferentes escalas.
3. En cuanto a la adecuaciones y mejoras de las plantas de tratamiento, los controles e incluso la reconsideración o ampliación de los parámetros de control, si bien se consideran completamente factibles y necesarios, tienen implicaciones a nivel de gestión e inversión de recursos económicos que resultan elevados e inalcanzables si se piensa en países en vías de desarrollo donde las prioridades se enfocan en otros aspectos de tipo social como la alimentación, la salud y/o la educación, sobre todo en una situación de alta complejidad como crisis económica y de salud a escala global. Por eso, además de la adecuación y redimensionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, se deben considerar la reducción aguas arriba, lo que implica un cambio en los patrones de consumo, ya que esto podría resultar menos costoso y sostenible en el tiempo.
4. En el caso de los medicamentos y desechos hospitalarios se deben implementar tratamientos avanzados en sitio, así como promover la disminución de la automedicación, regulando la adquisición de medicamentos. También se debe innovar en la sustitución de algunos productos de aseo personal y materiales de empaquetado, envasado y embalado para minimizar el uso de plásticos por otros menos perjudiciales para el ambiente. Esto a su vez debe estar acompañado de regulaciones, que incluso prohíban el empleo de algunos de los productos perjudiciales para el ambiente y la salud humana, fomentando las buenas prácticas entre productores, distribuidores y consumidores para un consumo racional verdaderamente consciente. De esta manera y, por supuesto, involucrando a todos los actores de las diferentes localidades se pueden desarrollar estrategias holísticas para afrontar el problema de los contaminantes emergentes.

5. Por último, en Venezuela se está comenzando a dar pasos importantes en el levantamiento de información sobre la contaminación plástica en la zona costera, sin embargo, es necesario potenciar las acciones que vayan hacia el apoyo tangible de los expertos de esta línea de investigación, la integración de los diferentes actores y una modificación del modelo económico lineal hacia uno verdaderamente sostenible como el de la economía circular.

Referencias Bibliográficas

1. Acosta-Coley, I., Duran-Izquierdo, M., Rodriguez-Cavallo, E., Mercado-Camargo, J., Mendez-Cuadro, D., & Olivero-Verbel, J. (2019). Quantification of microplastics along the Caribbean Coastline of Colombia: Pollution profile and biological effects on *Caenorhabditis elegans*. *Marine Pollution Bulletin*, 146(July), 574–583.
2. Andersson, M., Ottesen, R.T., Volden, T. (2004). Building materials as a source of PCB pollution in Bergen, Norway. *Sci. Total. Environ.* 325 (1–3):139–144.
3. Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605.
4. Bila D. & Dezotti M. 2007. Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos e consequências. *Química Nova*, 30:651-666.
5. Castillo, A. B., Al-Maslamani, I., & Obbard, J. P. (2016). Prevalence of microplastics in the marine waters of Qatar. *Marine pollution bulletin*, 111(1-2), 260-267.
6. Chapman, P. M. (2007). Determining when contamination is pollution—weight of evidence determinations for sediments and effluents. *Environment International*, 33(4), 492-501.
7. Crawford, C. B., & Quinn, B. (2016). *Microplastic pollutants*. Elsevier Limited.
8. Dai, Z., Zhang, H., Zhou, Q., Tian, Y., Chen, T., Tu, C., ... & Luo, Y. (2018). Occurrence of microplastics in the water column and sediment in an inland sea affected by intensive anthropogenic activities. *Environmental pollution*, 242, 1557-1565.
9. de Granda-Orive, J. I., de Granda-Beltrán, C. & Baz-Lomba, J. A. (2018). Contaminantes emergentes: la nicotina en las aguas residuales domésticas como herramienta de análisis en salud pública. *Archivos de Bronconeumología*, 54(10), 495-496.

10. Deblonde, T., Cossu-Leguille, C., & Hartemann, P. (2011). Emerging pollutants in wastewater: a review of the literature. *International journal of hygiene and environmental health*, 214(6), 442-448.
11. Decreto N° 883 (1995). Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.
12. Desrosiers, S.S.a.M., 2014. A review of what is an emerging contaminant. *Chemistry Central Journal* 8, 15.
13. Ferreira, L., Rosales, E., Danko, A.S., Sanromán, M.A., Pazos, M.M., 2016. *Bacillus thuringiensis* a promising bacterium for degrading emerging pollutants. *Process Safety and Environmental Protection* 101, 19-26.
14. Gavrilescu, M., Demnerová, K., Aamand, J., Agathos, S., & Fava, F. (2015). Emerging pollutants in the environment: present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. *New biotechnology*, 32(1), 147-156.
15. GESAMP (2016). "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment" (Kershaw, P.J., and Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep.Stud. GESAMP No. 93, 220 p.
16. Ghosh, S., & Chakraborty, S. (2021). Remediation of Emerging Pollutants by Using Advanced Biological Wastewater Treatments. *Applied Water Science: Remediation Technologies*, 2, 623-643.
17. González, I., Muga, I., Rodríguez, J. & Blanco, M. (2018). Contaminantes emergentes en aguas residuales urbanas y efluentes hospitalarios. *Tecnoagua* 29: 42-54.
18. Grillo, J. F., Sabino, M. A., & Ramos, R. (2021). Short-term ingestion and tissue incorporation of Polystyrene microplastic in the scleractinian coral *Porites porites*. *Regional Studies in Marine Science*, 43, 101697.
19. Hounslow, A. (1995). *Water Quality Data: Analysis and interpretation*.
20. Li, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the Total Environment*, 566–567, 333–349.
21. Manahan, S. E. (2000). *Environmental science, technology, and chemistry*. Environmental Chemistry Boca Raton: CRC Press LLC.

22. Metcalf & Eddy, Burton, F. L., Stensel, H. D., & Tchobanoglous, G. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse. McGraw Hill.
23. Mishra, S., Singh, R. P., Rout, P. K., & Das, A. P. (2022). Membrane bioreactor (MBR) as an advanced wastewater treatment technology for removal of synthetic microplastics. *Development in Wastewater Treatment Research and Processes*, 45-60.
24. Mohamed, M.O., Paleologos, E.K., 2018. Chapter 10 - Emerging Pollutants: Fate, Pathways, and Bioavailability, *Fundamentals of Geoenvironmental Engineering*. Butterworth-Heinemann, pp. 327-358.
25. Nazaret, S., & Aminov, R. (2014). Role and prevalence of antibiotics and the related resistance genes in the environment. *Frontiers in microbiology*, 5, 520.
26. Petrovic, M., Radjenovic, J., & Barcelo, D. (2011). Advanced oxidation processes (AOPs) applied for wastewater and drinking water treatment. Elimination of pharmaceuticals. *The holistic approach to Environment*, 1(2), 63-74.
27. Plastics Europe. (2019). *Plastics – the Facts 2019 An analysis of European plastics production, demand and waste data*.
28. Poynton, H.C., Robinson, W.E., 2018. Chapter 3.7 - contaminants of emerging concern, with an emphasis on nanomaterials and pharmaceuticals. *Green Chemistry*. Elsevier, pp. 291–315.
29. Sánchez-Polo, M., López-Peñalver, J., Prados-Joya, G., Ferro-García, M. A., & Rivera-Utrilla, J. (2009). Gamma irradiation of pharmaceutical compounds, nitroimidazoles, as a new alternative for water treatment. *Water research*, 43(16), 4028-4036.
30. Sawyer, C. N., McCarty, P., Parkin, G. F., Arteaga de García, L., & Quigua, D. A. (2001). *Química para ingeniería ambiental*. McGraw-Hill.
31. Taheran, M., Naghdi, M., Brar, S. K., Verma, M., & Surampalli, R. Y. (2018). Emerging contaminants: Here today, there tomorrow! *Environmental nanotechnology, monitoring & management*, 10, 122-126.
32. Tejada, C., Quiñonez, E., & Peña, M. (2014). Contaminantes emergentes en aguas: metabolitos de fármacos. Una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 10(1), 80-101.
33. Tondera, K., Blecken, G. T., Tournebize, J., Viklander, M., Österlund, H., Wikström, A. A., & Tanner, C. C. (2018). Emerging contaminants: Occurrence, treatment efficiency and

- accumulation under varying flows. In *Ecotechnologies for the treatment of variable stormwater and wastewater flows* (pp. 93-109). Springer, Cham.
34. Tondera, K., Blecken, G.-T., Tournebize, J., Viklander, M., Österlund, H., Andersson Wikström, A., & Tanner, C. C. (2017). *Emerging Contaminants: Occurrence, Treatment Efficiency and Accumulation Under Varying Flows. SpringerBriefs in Water Science and Technology*, 93–109. doi:10.1007/978-3-319-70013-7_6.
 35. Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B., Zhai, P., Mote, P.W. 2007. Observations: Surface and atmospheric climate change. Chapter 3 in S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. (Contributing author: Mote).
 36. Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental pollution*, 193, 65-70.
 37. Vidyasakar, A., Krishnakumar, S., Kasilingam, K., Neelavannan, K., Bharathi, V. A., Godson, P. S., Prabha, K., & Magesh, N. S. (2020). Characterization and distribution of microplastics and plastic debris along Silver Beach, Southern India. *Marine Pollution Bulletin*, 158(July), 111421.
 38. Wilkinson, J. et al., (2017). Occurrence, fate and transformation of emerging contaminants in water: an overarching review of the field. *Environ. Pollut.* 231 (Part 1), 954–970.
 39. Yee-Batista, C. (2013). Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas. Banco Mundial, Buenos Aires.
 40. Zhang, C., Zhou, H., Cui, Y., Wang, C., Li, Y., & Zhang, D. (2019). Microplastics in offshore sediment in the Yellow Sea and East China Sea, China. *Environmental Pollution*, 244, 827–833.