

Contaminantes emergentes, ¿qué son y cómo nos afectan?

Elizabeth Undiano, Noé Arroyo y Marcela Ayala.
Instituto de Biotecnología, UNAM

Elizabeth Undiano y Noé Arroyo son estudiantes del Programa de posgrado en Ciencias Bioquímicas del Instituto de Biotecnología, en el que cursan la maestría realizando un proyecto relacionado con contaminantes emergentes bajo la dirección de la Dra. Marcela Ayala, Investigadora Titular en el Departamento de Ingeniería Celular y Biotecnología del mismo Instituto, en el que dirige un grupo de investigación en el área de Biotecnología Ambiental. Agustín López Munguía.

Contaminantes emergentes: ¿qué son y de dónde vienen?

Los contaminantes emergentes, también llamados micro-contaminantes, son compuestos químicos producto de las actividades humanas que hasta hace muy poco no se habían considerado como perjudiciales. Generalmente se liberan al ambiente en pequeñas cantidades pero con el tiempo y debido a su uso intensivo y generalizado, se van acumulando en el entorno. Lo preocupante es que aún a bajas concentraciones pueden tener efectos negativos en los seres vivos, sobre todo a largo plazo. Los contaminantes emergentes han llegado a serlo porque se acumulan en cuerpos de agua ocasionando la pérdida de biodiversidad de ecosistemas acuáticos. Asimismo, provocan la aparición de microorganismos patógenos resistentes a antibióticos.

Entre los contaminantes emergentes se encuentran algunos medicamentos, productos de uso personal, cosméticos y productos de limpieza, entre otros (Figura 1). Incluso los virus y bacterias son considerados un tipo particular de contaminante emergente o micro-contaminantes biológicos (MB). Generalmente los MB también derivan de actividades humanas, tanto urbanas –industria– como rurales –ganadería– van en las descargas de agua sin tratamiento que derivan a cuerpos de agua naturales. A los MB se les conoce como patógenos emergentes o re-emergentes pues causan enfermedades que se creían controladas. Por ejemplo, en 1976, en Filadelfia, en Estados Unidos, se dio un brote de neumonía entre los participantes de una convención. Después de un análisis exhaustivo, se identificó a la bacteria *Legionella pneumophila* como la responsable del evento y se concluyó que los sistemas de calentamiento y enfriamiento del agua doméstica, así como de las albercas y el aire acondicionado, proporcionaron un ambiente ideal para que la bacteria se reprodujera y desde ahí infectó a decenas de personas. En esta entrega nos concentraremos en los contaminantes emergentes no biológicos.

Más cerca de lo que podríamos imaginar

Los contaminantes emergentes se encuentran en todo el orbe en concentraciones muy variadas, dependiendo de las actividades industriales, ganaderas, agrícolas e incluso del número de habitantes en cada localidad. Contaminan los suelos y las lluvias los acarrearán a los cuerpos de agua tanto superficiales como del subsuelo. Las plantas de tratamiento de aguas municipales e industriales no están diseñadas para degradar los contaminantes emergentes, es decir, en los "lodos activados", que son el conjunto de microorganismos capaces de degradar todos los desechos orgánicos que llegan a las plantas de tratamiento, no hay microorganismos con esta habilidad. Por ello, algunos de los contaminantes emergentes son detectados en los efluentes de las plantas de tratamiento y en ocasiones los porcentajes de remoción son menores a 20%.

Gracias a que la existencia de los contaminantes emergentes se detectó desde la década de los años ochenta del siglo pasado, se han estudiado varias estrategias para su degradación; sin embargo, implican procesos y costos extraordinarios en las plantas de tratamiento de residuos, además, no hay a la fecha un proceso lo suficientemente inespecífico como para degradarlos todos.

Como resultado del carácter persistente de los contami-

antes emergentes, lo que significa que los compuestos se degradan muy lentamente, pueden dispersarse en el ambiente lejos de su fuente de emisión, e introducirse en resquicios de otros ecosistemas. En México, de acuerdo con el Instituto Nacional de Acceso a la Información (INAI, solicitud 1611100002116), las autoridades de salud y del medio ambiente no cuentan con un listado de contaminantes emergentes en agua y menos en ecosistemas terrestres. De acuerdo con esta información, la dificultad para contar con ese listado radica en que no es un tema prioritario en los programas de investigación y desarrollo, no se cuenta con datos de monitoreo sistemático, la diversidad molecular de los contaminantes dificulta su análisis y su origen diverso ocasiona que sean ubicuos en el ambiente, entre otros. Sin embargo, cabe mencionar que algunas instituciones de educación superior y gubernamentales han comenzado a estudiar y poner mayor atención a este tema, como se menciona más adelante.

La Tabla 1 muestra algunos de los orígenes de los compuestos considerados contaminantes emergentes que, de acuerdo al INAI, podrían ser de interés para México.

Tabla 1. Contaminantes emergentes de posible interés para México

GRUPO	COMPUESTOS
Esteroides y hormonas	Estradiol Testosterona Estrona α -etinilestradiol β -etinilestradiol
Productos para el cuidado personal (PCP)	Galaxolida Tonalida y otros PCP Triclosán (enjuague bucal) Oxibenzona DDT (repelente de insectos)
Industriales	Pentaclorofenol Nonilfenoles Bisfenol A Bis-2-etilhexilftalato
Fármacos	Acido mefenámico Sulfasalazina Ibuprofeno Diclofenaco Nimesulida Ketoprofeno Metil de ácido salicílico Gemfibrozil Acido clofibrico y metabolitos Carbamacepina Metilprednisolona
Antibióticos	Sulfametoaxol Trimetroprima Ciprofloxacino Roxitromicina Norfloxacino Sulfadiazina Cloranfenicol



Algunos contaminantes emergentes provienen del uso cotidiano de productos de cuidado personal, como champú, jabón, pasta de dientes, etc.

Como se observa en la tabla 1, y aunque los nombres suenen extraños, los contaminantes emergentes pueden ser sustancias contenidas en productos que cotidianamente compramos en la farmacia y en las tiendas de autoservicio. Por ejemplo, el cloranfenicol es un compuesto antibiótico que lleva usándose más de 60 años y se receta para el tratamiento de fiebre tifoidea, tos ferina, brucelosis, infecciones en ojo, entre otras. El ibuprofeno es un analgésico y antiinflamatorio que se utiliza para controlar los dolores artríticos, dentales, de cabeza, etcétera. El triclosán es un compuesto antibacteriano y antifúngico que se encuentra en productos como enjuagues bucales, jabones, desodorantes, pastas de dientes, y otros productos desinfectantes. Afortunadamente, el año pasado la Food and Drug Administration (FDA, por sus siglas en inglés) de EEUU prohibió el uso del triclosán en jabón de manos y cuerpo.

Contaminantes emergentes y sus efectos

Un buen ejemplo de contaminantes emergentes y los riesgos que derivan de estar expuestos a ellos, son aquellos que se clasifican como perturbadores endócrinos (PE). Los PE son compuestos que mimetizan a las hormonas producidas por los seres vivos, e interfieren en distintas funciones. Por ejemplo, entre los compuestos químicos que pueden actuar como perturbadores endócrinos están las hormonas naturales (estradiol) y sintéticas (etinilestradiol) que se utilizan en píldoras anticonceptivas, así como tratamientos de infertilidad y reemplazo hormonal; los compuestos químicos industriales como el bisfenol A y algunos análogos (bisfenol F y bisfenol S) que se utilizan en la producción de resinas y plásticos; los metales pesados (cadmio, plomo, mercurio); algunos compuestos que se utilizan en agentes de limpieza (triclosán, nonilfenol), entre otros. Es fácil notar que los perturbadores endócrinos están constituidos por un amplio grupo de compuestos, y la forma en la que pueden llegar al ambiente es variado: a partir del desagüe de hospitales y casas, hasta alcanzar los efluentes de plantas de tratamiento de agua, y los escurrimientos que se derivan de actividades agrícolas y ganaderas.

Desde los años 60 del siglo pasado, se descubrió que algunos PE como el insecticida DDT y otros pesticidas generaban malformaciones y disminución de la fertilidad principalmente en aves, peces y reptiles. Incluso, pueden llegar a feminizar poblaciones de estos animales (Figura 2). Debido a que los PE mimetizan la función de las hormonas, los organismos con un sistema hormonal son afectados por estos compuestos. Por esta razón, los laboratorios que fabrican este tipo de sustancias deben realizar pruebas en animales y estudiar y predecir si algún compuesto puede tener efectos adversos en el sistema hormonal humano. Se ha encontrado que algunos PE tienen un efecto

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx



Los perturbadores endócrinos son un tipo de contaminante emergente que mimetiza la acción de las hormonas, llegando a feminizar poblaciones de peces, reptiles y anfibios aún a bajas concentraciones.

tóxico no convencional, es decir, a concentraciones altas no tienen efecto negativo pero a concentraciones bajas sí. Por ello se plantea la hipótesis de que exposiciones continuas a bajas concentraciones de PE pueden tener un efecto negativo en los organismos. Por ejemplo, se ha visto que la tercera generación de peces expuestos a muy bajas concentraciones de etinil-estradiol (hormona estrogénica sintética) presenta problemas de fertilidad. Las concentraciones de PE en ríos y lagos son muy bajas, pero aun así podría ocurrir que los peces y tal vez otros organismos acuáticos tengan afectaciones. Recomendamos leer una entrega anterior, "Las hormonas y sus perturbaciones" (7-Dic-2015, por P. Joseph y J.L. Charli), para profundizar en este tema.

Otro grupo de compuestos que forma parte de los contaminantes emergentes son los antibióticos, sustancias utilizadas en plantas y animales, incluido el humano, para contrarrestar la proliferación de bacterias y hongos patógenos. En México y en otras partes del mundo, se han detectado antibióticos tanto en cuerpos de agua naturales (por ejemplo, mantos freáticos) como en efluentes urbanos. La presencia de antibióticos en estos ambientes podría ocasionar resistencia en microorganismos y generar "superbichos", es decir, microorganismos que son difíciles de combatir pues son resistentes a los antibióticos con los que actualmente contamos. Es el caso de la bacteria *Staphylococcus aureus*, resistente a metilicina" (MRSA, por sus siglas en inglés). Esta bacteria es el dolor de cabeza para muchos médicos y hospitales, porque llega a infectar a pacientes que permanecen hospitalizados mucho tiempo. El problema, como se mencionó, es que esta es una bacteria resistente a muchos antibióticos y por tanto es complicado curar a los pacientes infectados con ella. La *Staphylococcus aureus* puede causar desde infecciones en la piel hasta condiciones más serias como sepsis y neumonía.

Los contaminantes emergentes en México

En México hay pocos estudios para determinar la cantidad de contaminantes emergentes en el entorno. En uno de ellos, publicado en una revista científica en el 2013, un grupo de investigadores de la UNAM tomó muestras en varios puntos del canal de Xochimilco en la Ciudad de México. Específicamente, midieron la cantidad de varios compuestos considerados como PE, tanto en temporada seca como de lluvias. En él se encontró que la concentración de los PE en el agua incrementa cuando llueve. Esto posiblemente ocurre porque los compuestos, que también pueden encontrarse en el suelo, son arrastrados por la lluvia hacia los canales. Cabe mencionar que la concentración de los compuestos en el agua de los canales ronda los nanogramos por litro (ng/L), es decir 0.000000001 g/L. Parece una cantidad insignificante, sin embargo otros estudios han demostrado que animales modelo como el pez cebra (*Danio reio*) o la carpita cabezona (*Pimephales promela*) presentan afectaciones cuando son expuestos a estas bajas concentraciones por algunas semanas e incluso días, como la feminización de los machos, la reducción en la fecundidad y una mayor mortalidad de embriones. En un estudio realizado por investigadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), se monitoreó el Valle del Mezquital y se encontró que debido al uso de agua residual sin tratamiento para riego de cultivos, se contamina el agua subterránea con varios compuestos, entre los que destacan el sulfametoxazol (7.25-22.8 ng/L) y la metilprednisolona (6.6-12.9 ng/L). El primero es un antibiótico que se usa en tratamientos de vías urinarias, sinusitis y toxoplasmosis; esta sustancia se encuentra comercialmente en productos como Bactrim o Septrin. La metilprednisolona es un medicamento que se utiliza por sus propiedades antiinflamatorias en pacientes con artritis, alergias severas y asma, entre otras. Otro compuesto que se encontró es el ácido clofibrato, derivado del clofibrato; el clofibrato forma parte



Podemos ayudar a mitigar el problema de micro-contaminación desechando los medicamentos caducos en los lugares designados, y no en el drenaje de la casa.

de tratamientos médicos indicados para bajar los niveles de triglicéridos en sangre.

Queremos destacar que para reducir el preocupante problema de micro-contaminación, es necesario evitar la auto y sobre medicación, no sólo con antibióticos, sino con medicamentos como antiinflamatorios, analgésicos, antihistamínicos y otros que pueden adquirirse sin receta médica. También es muy importante controlar la forma en la que desechamos los medicamentos. Es común que una vez que el medicamento caduca, se deseché vía el drenaje de la casa, o simplemente se tire en la basura. Actualmente en México existen centros de acopio para medicamentos caducos. Lo apropiado es reunir dichos medicamentos y llevarlos a estos centros de acopio donde procederán a disponer de ellos de forma adecuada para que no afecten al medio ambiente (Figura 3). En México contamos con el Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases y Medicamentos (SINGREM), que es una asociación civil sin fines de lucro surgida en 2008 por iniciativa de la industria farmacéutica mexicana. Con base en la Ley General para la Prevención y Gestión de Residuos y contando con el apoyo de autoridades federales y locales de salud y medio ambiente, el SINGREM tiene un programa al que cualquier farmacia puede adherirse (cumpliendo con ciertos requisitos) y que

consiste en instalar contenedores diseñados específicamente para desechar medicamentos caducos y sus envases. Los establecimientos que participan en este programa de manejo cuentan con un distintivo; la dirección de los más de 60 lugares en Cuernavaca que cuentan con estos contenedores puede consultarse en la página web del SINGREM. Dicho sea de paso, este programa evita que los medicamentos caducos y sus envases se desvíen al mercado ilegal. Los desechos que se colocan en estos contenedores son recolectados periódicamente y destruidos de forma adecuada cumpliendo con la regulación dispuesta por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Para saber más sobre el tema:

- 1.-Página web del SINGREM <http://www.singrem.org.mx/>
- 2.- Patricia Joseph & Jean-Louis Charli. "Las hormonas y sus perturbaciones" La Unión de Morelos 7-Dic-2015, p 30-31 <http://www.acmor.org.mx/?q=content/las-hormonas-y-sus-perturbaciones>
- 3.- Miguel Rubio-Godoy. "Aguafiestas: los disruptores endócrinos". Revista "¿Cómo ves?" No. 215, Octubre 2016
- 4.- Hugo Rico. "Amenaza latente". Cienciorama. 28-03-2016. <http://cienciorama.unam.mx/#!titulo/459/?amenaza-latente>