

Recibido: 22.01.2020 | Aceptado: 01.03.2020

**Palabras clave:** América Latina, detergentes, medio ambiente, nonilfenol, salud.

# ¿Por qué contaminan los detergentes?

KARLA XIMENA VARGAS BERRONES

*karla.vargas@uaslp.mx*

LUIS ARMANDO BERNAL JÁCOME

*luis.bernal@uaslp.mx*

ROGELIO FLORES RAMÍREZ

*rogelio.flores@uaslp.mx*

FACULTAD DE INGENIERÍA, UASLP

En los últimos dos siglos, la formulación y el uso de sustancias químicas han contribuido enormemente al desarrollo económico y social de nuestro planeta. Como resultado, miles de mezclas químicas (de origen sintético y natural) forman parte de nuestro medio ambiente y, por ende, de la vida diaria.

En la actualidad, el mercado mundial ofrece una gran cantidad de productos químicos, sujetos a sistemas reglamentarios, de inventario y de demanda. Existen más de 80000 químicos que son utilizados en la manufactura de productos diseñados para cumplir necesidades humanas, como detergentes, fármacos, cosméticos, fragancias, productos de cuidado personal, entre muchos otros usados en todo el mundo, que posteriormente son desechados en el medio ambiente como parte de un proceso de manufactura o como basura industrial (Naidu *et al.*, 2016).

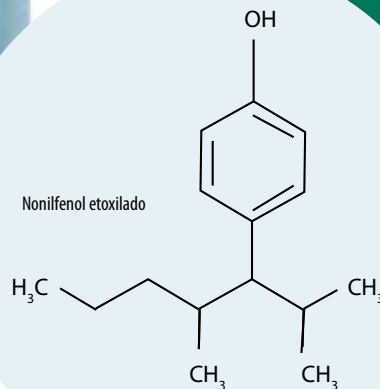
Los detergentes son productos químicos utilizados en el día a día de la vida doméstica y en el ámbito industrial; comúnmente contie-



nen nonilfenol etoxilado (NFE) (surfactante no iónico) (Quiroga *et al.*, 2019), un compuesto viscoso entre incoloro y amarillo y de olor característico que sirve como emulsificante —ayuda a homogeneizar la mezcla— en una gran variedad de productos de limpieza de uso doméstico y es prácticamente insoluble en agua, además ha demostrado ser muy tóxico para los peces y otros organismos acuáticos. Es así que este compuesto ha sido catalogado por convenios internacionales como severamente restringido, debido a su impacto sobre el medio ambiente y la salud ecológica.

### Los NFE y los detergentes

Los NFE son usados por sus excelentes propiedades surfactantes como buen emulsificante y removedor de suciedad y grasa, así como su bajo costo; 80 por ciento de su producción se utiliza en detergentes y el 20 por ciento restante en procesos de fabricación de papel, plásticos, pesticidas, entre otros (Araujo *et al.*, 2018). La gran demanda industrial y las actividades antropogé-



nicas —como la generación de lodos residuales, rellenos sanitarios y derrames accidentales— han incrementado la presencia del nonilfenol etoxilado como contaminante, integrándose al medio ambiente, principalmente por la descarga de desechos y por las plantas tratadoras de agua (Jie *et al.*, 2017).

En el ambiente, el NFE se degrada por acción de microorganismos o luz ultravioleta, transformándose en subproductos de degradación nonilfenol (NF) (Cheng *et al.*, 2017), el cual se ha reportado es más resistente a la degradación, que posee actividad disruptiva endocrina por su capacidad de imitar la hormona femenina 17β-estradiol (altera las funciones naturales hormonales) y es altamente tóxico para organismos acuáticos y terrestres (Forte *et al.*, 2016).

Algunos de los efectos por exposición encontrados a la fecha son: cambio de sexo, aumento de hermafroditismo, reducción de la eliminación de testosterona y de fecundidad, mutaciones, deformidades, aumento de mortalidad, inhibición del desarrollo gonadal, de ovarios y del desarrollo y baja masa testicular (Buñay *et al.*, 2017; Patiño-García *et al.*, 2018; Uguz *et al.*, 2015). Aunque la concentración del NF puede disminuir por la presencia del sol sobre las aguas superficiales, existe evidencia de que en los sedimentos tiene un promedio de vida media estimado de más de 60 días, ocasionando una exposición constante en todos los seres vivos.

La exposición al NF en humanos se debe principalmente al consumo de alimentos y agua contaminada (Careghini *et al.*, 2015). Por su alta estabilidad y solubilidad en lípidos, puede ser consumido muy fácilmente a través de la cadena alimenticia (Chang *et al.*, 2019). Asimismo, las concentraciones variables encontradas en múltiples alimentos implican que el NF se introduce a éstos en diferentes etapas de su producción, debido a su uso como



surfactante en desinfectantes, productos de limpieza y pesticidas (Kawamura *et al.*, 2017).

Se han desarrollado estrategias y regulaciones a nivel mundial para lidiar de forma urgente con los disruptores endocrinos —sustancias químicas ajenas al cuerpo que son capaces de alterar el equilibrio hormonal—, entre ellos el NF. La Unión Europea (UE) restringió su uso con la Directiva 2003/53/EC y permite una concentración de NF en aguas de 2 microgramos por litro ( $\mu\text{g/L}$ ). De igual forma, la Agencia de Protección Ambiental (en inglés Environmental Protection Agency, EPA) de Estados Unidos de América recomienda que las concentraciones en agua dulce sean menores a  $6.6 \mu\text{g/L}$  y en agua salada menores a  $1.7 \mu\text{g/L}$ .

Actualmente no cuenta con regulaciones al respecto, por lo que es necesari-

o que las autoridades ambientales y de salud establezcan e implementen regulaciones y restricciones para minimizar los impactos ambientales que pueden representar un riesgo a la salud pública. Aunque es ampliamente conocida la presencia de NF, hay una brecha de conocimiento sobre su distribución en ciertas áreas geográficas como América Latina (Llorca *et al.*, 2017), donde la falta de información puede atribuirse a la economía, debido al alto costo de las técnicas analíticas para su identificación.

#### Identificación de NF en México

Recientemente se desarrolló un método analítico de menor costo para determinar el NF en diferentes fuentes de agua en México, con la finalidad de establecer concentraciones ambientales. Dicho estudio se realizó en el Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud (CIAAS) de la Coordinación

para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACYT) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), y es parte del proyecto de tesis doctoral en Ciencias Ambientales de la autora de este artículo, Karla Ximena Vargas Berrones. Se consideraron tres diferentes escenarios: agua recreacional, residual y potable. Las muestras fueron recolectadas principalmente en la ciudad de San Luis Potosí y unas cuantas en Mérida, Yucatán, en el periodo de mayo a agosto de 2018. El análisis de las muestras consistió en un proceso de concentración utilizando microextracción en fase sólida con un proceso de derivatización para la mejora de sensibilidad en el método de cromatografía de gases acoplado a masas.

Las muestras de agua potable se tomaron de forma aleatoria de garrafoles de agua de cinco marcas comerciales diferentes. Se detectó NF en 83 por ciento de las muestras recolectadas, de las cuales 65 por ciento presentaron concentraciones superiores a los límites permisibles establecidos por la UE ( $2 \mu\text{g/L}$ ); mientras que 17 por ciento tuvieron concentraciones superiores a las recomendadas por la EPA ( $6.6 \mu\text{g/L}$ ). Aunque no se encontró una diferencia estadística entre las concentraciones máximas de las muestras de agua recreacional y residuales, ambas son dos veces mayores a lo recomendado por la EPA y son seis veces superiores a lo permitido por la UE.

Las muestras de agua recreacional presentaron un rango de concentración de  $0.83$  a  $12.61 \mu\text{g/L}$  con una mediana de  $3.61 \mu\text{g/L}$ ; las residuales registraron concentraciones menores

al límite de detección hasta 12.2 µg/L con una mediana de 3.88 µg/L; y las de agua potable, concentraciones menores al límite de detección hasta 6.08 µg/L.

Las concentraciones de NF encontradas en aguas recreacionales pueden ser atribuidas al turismo, a la descarga de residuos industriales y al lavado de ropa en zonas rurales. En aguas residuales puede estar asociada al uso de detergentes domésticos e industriales, ya que actualmente en México el nonilfenol y sus etoxilados no están regulados ni restringidos. Los niveles de NF encontrados en agua potable es mayor a los reportados en otras naciones, lo que puede deberse a que en nuestro país el agua de la llave no es potable y se utilizan garrafones que son lavados con detergente cada vez que son rellenados, por lo que un mal enjuague puede ser la causa de las altas concentraciones de nonilfenol en las muestras analizadas.

Los resultados del estudio presentan una visión general de la situación actual y permiten evaluar los niveles de exposición en las regiones analizadas, aunque no fue posible definir la fuente real de contaminación, pues únicamente se identificó el sitio final en donde se presenta el riesgo ecológico. Sin embargo, estos resultados contribuyen con nueva información que puede ayudar a identificar las fuentes de contaminación, así como a evaluar riesgos ecológicos y a la salud pública por la exposición al NF.

Los autores de este artículo consideran que esta información no debe ser ignorada por políticos, académicos ni por la iniciativa privada, ya que las



Recientemente se desarrolló en la UASLP un método de menos costo para determinar el NF



implicaciones ecológicas y humanas son de gran importancia. El monitoreo continuo y la implementación de nuevas regulaciones en México y América Latina respecto al uso del nonilfenol y sus etoxilados son necesarias, pues sin ellas no es posible entender las implicaciones de estos resultados, ya que no hay una concentración mínima permisible establecida. Asimismo, el riesgo humano por exposición no puede ser clasificado o explicado, por lo tanto, es importante implementar una estrategia que incluya el monitoreo continuo y la implementación de regulaciones para la evaluación del impacto ambiental y de los posibles riesgos a la salud pública y ecológica.

#### Sustitutos de nonilfenol en detergentes

Comúnmente, el NFE es sustituido en su mayoría por alcoholes etoxilados, surfactantes menos efectivos pero considerados más seguros para el medio ambiente debido a su rápida biodegradación. Sin embargo, algunos estudios sugieren que los subproductos de su degradación son compuestos de baja solubilidad que se absorben en lodos residuales (Soares *et al.*, 2008). Igualmente, se han introducido surfactantes naturales para sustituir a los etoxilados, por ejemplo, los alquil poliglucósidos (APG), surfactantes no iónicos que pueden producirse con materias primas renovables como el maíz, papas, trigo y aceite de coco (Pantelic y Cuckovic, 2014).

Esta materia prima presenta ventajas en comparación con otros surfactantes, como su adecuada concentración micelar crítica, lo que significa que con cantidades pequeñas del surfactante pueden realizarse remociones de gra-



## KARLA XIMENA VARGAS BERRONES

Es maestra en Planeación Estratégica e Innovación por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, donde actualmente cursa el Doctorado en Ciencias Ambientales. Es profesora investigadora en la Facultad de Ingeniería de la UASLP, en donde desarrolla el proyecto "Desarrollo de nuevas tecnologías en detergentes para la sustitución de compuestos tóxicos para la salud y el ambiente".



sa y sociedad importantes, aparte de buen poder espumante, puede formar microemulsiones, es estable a diferentes pH y biodegradable, presenta baja toxicidad acuática y propiedades dermatológicas favorables (Jurado *et al.*, 2012; Qin *et al.*, 2006). Debido a su origen natural y a sus propiedades físicas y ambientales, el APG puede ser un compuesto con usos potenciales en una variedad de aplicaciones domésticas e industriales (Ríos *et al.*, 2016).

Pero aun cuando estos compuestos presentan ventajas, sigue siendo un reto convencer a la iniciativa privada para que reemplace los surfactantes convencionales, ya que se estima que los costos de producción de los surfactantes naturales pueden llegar a ser mayores que los sintéticos (Deleu y Paquot, 2004).


### Comentarios finales

Debido a la falta de información en países de América Latina respecto a la contaminación por NF y su exposición, es difícil establecer una evaluación de riesgos ambientales y de salud pública. Esta desinformación puede deberse al alto costo que representa el análisis de este contaminante, pues deben hacerse con métodos sensibles, selectivos y precisos.

El amplio uso del NFE como surfactante, aunado a la falta de regulación en los países latinoamericanos, hace que sea uno de los contaminantes más encontrados en aguas residuales, efluentes, ríos, agua potable, sedimentos y suelos, por lo que es necesario desarrollar una estrategia coordinada, integrada y colaborativa en América Latina para el consumo, descarga y disposición de estos compuestos. Adicionalmente, es importante que las autoridades responsables de los recursos de agua promuevan la creación e

implementación de regulaciones, que podrían aportar a la reducción y prevención de los impactos negativos que los contaminantes emergentes causan en el ambiente y en la salud pública. Proyectos a futuro deberían determinar efectos potenciales, ocurrencia y niveles de concentración para una mejor regulación de estos contaminantes.

Nuestro método analítico recientemente publicado, basado en microextracción en fase sólida y cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (Vargas-Berrones *et al.*, 2020), demostró disminuir costos, aumentar la sensibilidad y ser un método rápido y capaz de ser utilizado en monitoreo ambiental.

Los resultados de la investigación permiten recomendar la implementación de regulaciones que prohíban el uso del nonilfenol etoxilado como materia prima para la elaboración de detergentes, y así minimizar los niveles de exposición del contaminante en el ambiente, biota y humanos. 

### Referencias bibliográficas:

- Araujo, F. G., Bauerfeldt, G. F. y Cid, Y. P. (2018). Nonylphenol: Properties, legislation, toxicity and determination. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(2), pp. 1903-1918.
- Llorca, M., Farre, M., Eljarrat, E., Díaz-Cruz, S., Rodríguez-Mozaz, S., Wunderlin, D. y Barcelo, D. (2017). Review of emerging contaminants in aquatic biota from Latin America: 2002-2016. *Environmental toxicology and chemistry*, 36(7), pp. 1716-1727.
- Pantelic, I. y Cuckovic, B. (2014). Alkyl Polyglucosides: An emerging class of sugar surfactants. In: Pantelic, I. (Editor), *Alkyl Polyglucosides*. Woodhead Publishing: Oxford.
- Quiroga, J. M., Garrido, M. C., Romero García, L. I., Sales Márquez, D. y Perales, J. A. (2019). Assessment of the Biodegradability and Ecotoxicity of a Nonylphenol Ethoxylate Surfactant in Littoral Waters. *International Journal of Environmental Science and Development*, 10(5), pp. 130-136.
- Vargas-Berrones, K., Díaz de León-Martínez, L., Bernal-Jacome, L., Rodríguez-Aguilar, M., Ávila-Galarza, A., Flores-Ramírez, R. (2020). Rapid analysis of 4-nonylphenol by solid phase microextraction in water samples. *Talanta*, 209, 120546.