

La indeseable inmortalidad (parte 1)

MARGARITA I. BERNAL – URUCHURTU

La Dra. Margarita I. Bernal Uruchurtu es Profesora - Investigadora del Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEMor) y es integrante de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Hace un par de años escuché en un resumen de noticias que científicos habían encontrado en la Antártida cantidades no despreciables de “compuestos inmortales”, lo que extendía la alarma por sus conocidos efectos tóxicos, bioacumulativos y altamente persistentes en el ambiente. Mi reacción fue de incredulidad: - ¡ningún compuesto es inmortal! - pensé. Aun cuando soy química, debo admitir que en mi formación no hubo un curso en el que, al menos de forma introductoria, revisásemos lo que les ocurre a los compuestos químicos sintéticos una vez que entran al ambiente.

Esa misma tarde busqué la noticia en su versión extensa para enterarme a qué tipo de compuesto le estaban llamando “inmortal”. En efecto, hay una familia de aproximadamente 8000 diferentes compuestos conocida como sustancias polifluoroalquílicas (PFAS) que son compuestos sintéticos cuyo esqueleto está formado por una cadena de átomos de carbono y cada uno de ellos tiene varios átomos de flúor unidos. Además, tienen un grupo funcional de ácido carboxílico o ácido sulfónico como se muestra en la Figura 1.

Cuando por fin conocí la composición química de estos compuestos me di cuenta de que el apodo inmortal era, desafortunadamente, muy atinado. El enla-

ce químico entre el carbono y el flúor es uno de los enlaces químicos más fuertes que se conocen. Romper un enlace de este tipo requiere 485 kJ/mol, dependiendo de su lugar en la estructura molecular. Para darnos una idea la energía promedio para romper un enlace entre carbono e hidrógeno es 411 kJ/mol y uno entre dos átomos de carbono requiere 346 kJ/mol. Esta diferencia con la mayor parte de los compuestos químicos comunes hace que los PFAS sean extremadamente estables y durables y, si a ello sumamos que no se degradan por vías metabólicas comunes, estos compuestos se acumulan sin cambios en el medio y en los seres vivos. Por ello, los han encontrado en la atmósfera, en la lluvia, en el agua superficial, en los casquetes polares, en el agua subterránea y, por supuesto, en los humanos. La persistencia, en este caso, es la ausencia de degradación en el ambiente.

Mi reacción, como probablemente la de quienes leen esto, fue de incredulidad y molestia ¿a quién se le ocurre crear sustancias con este perfil y para qué? La historia inicia con una magnífica oportunidad de crear materiales con propiedades muy deseables, continúa con silencios, engaños, corrupción y una cadena de las peores prácticas comerciales que la humanidad ha conocido. La investigación periodística hecha por Sharon Lerner reúne el detalle completo de lo que en seguida presento de manera reducida (1). Apareció en *ProPublica* una organización sin fines de lucro que investiga los abusos de poder.

El secreto de los materiales con propiedades comercialmente deseables

Los PFAS se han utilizado y manufacturado desde la década de los 40 del siglo pasado en diferentes industrias en el mundo. Propiedades como, la repelencia al aceite, a la grasa y el agua, su capacidad de actuar como lubricantes estables a altas temperaturas logró que se incorpo-

raran en utensilios de cocina con antiadherente, ropa y zapatos impermeables, muebles y espumas para apagar incendios industriales. Materiales comunes como el teflón requieren de PFOS para su preparación y el equipo resistente a la intemperie para excursiones en montaña conocido como Gore-Tex, empleó hasta 2013 el PFO para hacer tejidos impermeables. A medida que investigamos los materiales que utilizaron PFAS en su fabricación es posible encontrar: productos de cuidado personal, de maquillaje, de higiene, recubrimientos para proteger de manchas a textiles de vestir o de tapicería, de recipientes de cartón desechable para comida rápida a los que se les aplicó una cubierta que evita que la humedad de los alimentos reblandezca el empaque, entre muchos, muchos más.

Entre los productos que la gigantesca empresa 3M comercializó con enorme éxito están los compuestos fluorados necesarios para fabricar materiales repelentes al agua y a las manchas, antiadherentes y lubricantes. Algunos se comercializaron bajo las marcas de *Scotchgard* o de *Scotchban*. Una de sus plantas más importantes en Estados Unidos se encuentra en el estado de Minnesota. En 1997 a una de las más jóvenes investigadoras en esa planta, especialista en detectar cantidades pequeñas de sustancias (trazas, decimos los químicos), la Dra. Kris Hansen, le solicitaron probar si existían PFOS en unas muestras de sangre humana (1). Creían que se trataba de un error y era importante señalarlo así. Sin embargo, el análisis que hizo Hansen empleando un método de espectrometría de masas reveló que, en efecto, había trazas en esa muestra de sangre que podría ser PFOS. La espectrometría de masas mide la masa de moléculas o fragmentos de ellas; por ello, cuando hubo la sospecha de que se trataba de PFOS fue necesario repetir la medición varias veces y probar con una técnica analítica más específica: la cromatografía de líquidos. Con esta técnica, es posible separar los compo-

ponentes de una mezcla líquida y efectuar el análisis de masa a cada uno de ellos. De esta manera fue posible comprobar que, en efecto, se trataba de PFOS en sangre. Al comunicarlo a su jefe, le solicitaron que analizara un mayor número de muestras provenientes de diferentes bancos de sangre de la región. Los resultados fueron positivos en todos los casos.

Es una práctica común que se evalúe la seguridad de nuevos productos químicos, primero en animales y si es posible, en humanos. Lo que K. Hansen no sabía, era que 3M había realizado las pruebas en animales dos décadas antes a los estudios que ella había realizado. Los resultados permanecieron en secreto porque mostraban que de las ratas que habían ingerido una dosis diaria de aproximadamente 10 mg/kg de peso, la mitad había muerto, y la otra mitad, tenía daño renal grave. En ratas, esa cantidad es superior a la dosis letal de alcohol etílico (7 mg/kg) y muy inferior a la de la cafeína (192 mg/kg) En las pruebas en monos, se encontró que dosis bajas de PFOS podían matarlos en el plazo de una semana. Aunque las dosis que se probaron en animales son varios órdenes de magnitud mayores que lo que una persona promedio ingeriría, el PFOS debería considerarse, por ese resultado, perteneciente a la categoría más alta de tóxicos reconocida por las Naciones Unidas.

Más adelante, la compañía consultó a H. Hodge, un respetado toxicólogo, y le mostró que el PFOS había enfermado y matado a animales de laboratorio, y también que algunos empleados de su planta de Minnesota tenían anomalías en el hígado. Hodge les dijo que era urgente revisar si los PFOS causaban daños reproductivos o cáncer y les advirtió de que, si los niveles eran altos y el compuesto perduraba, podían encontrar graves problemas. A pesar de ello, la compañía aumentó aún más su producción de compuestos fluorados. Eran un producto estrella.

K. Hansen no entendía la razón por la que las ratas, a las que no se les había suministrado PFOS, mostraban resultados positivos en sangre. Al revisar todas las variables posibles, se dio cuenta de que la dieta de las ratas contenía harina de pescado, lo que sugería que el compuesto se había distribuido a través de la cadena alimenticia, quizá a través del agua. Además, notó que, en las ratas macho los niveles del compuesto fluorado aumentaban con la edad, mientras que, curiosamente en las ratas hembra, los niveles decrecían ocasionalmente. Los informes de toxicología de las ratas lo explicaron: las ratas madre pasaban cierta cantidad de sus contaminantes a sus crías. ¡La exposición a PFOS iniciaba aún antes del nacimiento! Al ampliar el estudio, Hansen y su equipo encontraron que había presencia de PFOS en águilas,

pollos, conejos, vacas, cerdos y otros animales. También encontraron otros 14 diferentes compuestos fluorados en la sangre humana, muchos de ellos producidos por 3M. Algunos de ellos estaban presentes en el agua de desecho de la planta de 3M. De hecho, las únicas pruebas que resultaron negativas a la presencia de PFOS provenían de bancos de sangre ubicados en regiones muy remotas en China y de bancos en Suecia con muestras de sangre desde 1957 hasta 1971. Los fluorocarbonos entraron al torrente sanguíneo justo después de que la compañía empezara a vender productos que los contenían.

Encubrir en lugar de resolver

Traten de imaginar lo que para una joven empleada como Kris Hansen implicó los descubrimientos que estaba haciendo. Uno, sus resultados fueron puestos en duda sistemáticamente, siempre tuvo que reforzar los argumentos y los métodos empleados, y aun así, fueron ignorados por los directivos de 3M. Dos, controlar su enojo por la falta de acción de los directivos de 3M ante la evidencia de que había fluorocarbonos en la sangre de los empleados de 3M. Tres, tuvo que pensar detenidamente en la estrategia de investigación que le permitiría descubrir la cadena a través de la cual los PFAS estaban llegando al medio, desde el agua que 3M desechaba y de allí, a los animales y potencialmente a personas que no guardaban ninguna relación con la empresa. Y, cuatro, en ese momento era la única científica, una mujer en su treinta, en un grupo de ejecutivos hombres que la consideraban una amenaza contra los intereses comerciales de 3M.

Los secretos industriales, en particular la presencia de PFOS en el medio cercano a la planta de Minnesota, son difíciles de ocultar durante mucho tiempo. En 1998, un granjero del oeste del estado de Virginia buscó apoyo legal, pues tenía la fuerte sospecha de que el agua de desecho de la planta de DuPont estaba envenenando a sus vacas y los desesos ya sumaban un centenar. El análisis del agua que utilizaba el ganado mostró la presencia de PFOA que DuPont compraba a 3M y que ambas compañías conocían ya como tóxico. La demanda legal contra la compañía 3M se resolvió en 2010, tras doce años de litigio y negociación. Hubo un acuerdo por el cual 3M pagó 850 millones de dólares sin admitir su culpabilidad.

Kris Hansen estaba entrenada para detectar cantidades muy pequeñas de compuestos, pero no tenía la formación para estudiar los efectos de estos en el medio. Sus superiores en la empresa le aseguraban que habían estudiado los efectos y que no eran dañinos para los animales. Sin embargo, a partir de 2010 comenzaron a aparecer otros estudios científicos que mostraban que los efectos dañinos sobre los niños eran importantes y que, definitivamente, los PFAS no eran un grupo de compuestos inofensivos. Las demandas legales revelaron 3M había ocultado una gran cantidad de información sobre los PFAS, incluida aquella a la que ella nunca había tenido acceso. Al menos un par de estudios científicos independientes habían encontrado PFOS en agua y en sangre en la década de los 80s. Algunos no continuaron estudiando el problema por falta de recursos financieros y otros ocultaron los resultados por lealtad hacia la

empresa. Nadie en la compañía estaba interesado en escuchar acerca de la presencia de PFOS en la sangre de ninguna persona de la región. Muchos de los científicos de 3M prefirieron retirarse anticipadamente antes que trabajar en el control y reducción del uso de PFOS.

La cantidad de PFOS que 3M produjo en cinco décadas es, por lo menos, de 50 millones de kilogramos. Estos contaminantes pueden unirse a las proteínas y así penetrar en células y órganos, en los que una pequeña cantidad puede causar estrés e interferir en funciones biológicas básicas. No fue hasta el pasado mes de abril (2024) cuando la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) incluyó a los PFOS y PFAS en la lista de los compuestos que es probable que causen cáncer y estableció los niveles máximos permitidos en agua potable. Esto obligará a todas las poblaciones de EE. UU. a demostrar que no haya una cantidad mayor a cuatro partes por trillón en el año, es decir, el equivalente a una gota disuelta en varias piscinas olímpicas. Sin embargo, la cantidad de estos contaminantes orgánicos persistentes producida por la empresa 3M hace prácticamente imposible alcanzar ese nivel en toda el agua potable del mundo. Es urgente actuar para eliminar estos compuestos del agua. Las demandas legales están obligando a 3M a pagar el costo de filtración de agua potable de numerosos pueblos y ciudades con agua contaminada. Sin embargo, lo que se ha logrado es extremadamente poco en comparación con la magnitud del problema.

En 2022, 3M anunció que suspenderá la producción de PFAS y que trabajará para elimi-

nar su uso en muchos de los productos que comercializa a finales de 2025. Esto supondrá que habrá que modificar la composición química de más de 16 000 productos. Ninguno de los empleados científicos ni directivos de 3M ha enfrentado cargos por culpabilidad criminal ni ha admitido haber actuado con negligencia por su participación en la producción de los compuestos inmortales o en el ocultamiento de sus daños.

Este escándalo que es preocupante en muchos niveles ha movilizó el trabajo de muchos científicos que buscan las alternativas para solucionar la contaminación por PFAS. La próxima semana, en la segunda parte abordaremos algunas posibles soluciones.

Referencias

1. **ProPublica.org, Lerner, Sharon.** How 3M Executives Convinced a Scientist the Forever Chemicals She Found in Human Blood Were Safe. *ProPublica.* [Online] 2024. <https://www.propublica.org/article/3m-forever-chemicals-pfas-pfos-inside-story>. Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

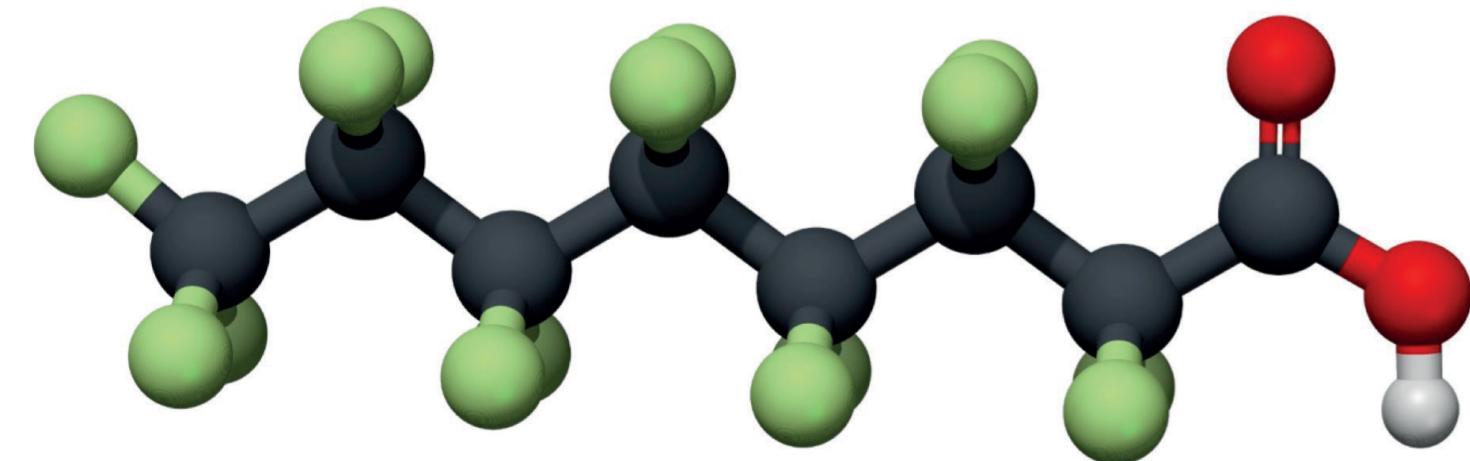


FIGURA 1. MODELO molecular del ácido perfluorooctanoico (PFOS) $C_8HF_{15}O_2$, un miembro de la familia PFAS. Los átomos de carbono, en negro, están unidos a átomos de flúor, en verde. En el extremo derecho se encuentra el grupo carboxílico que aumenta la posibilidad de que esta molécula se disuelva en agua. Una vez disuelto, esta molécula es un ácido fuerte, tanto que puede causar quemaduras.



ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: coord.comite.editorial.acmor@gmail.com