

Contaminantes en el Medio Ambiente Urbano: Los Perfluoroalquilos¹

Ignacio A. Rodriguez-Jorquera, Gurpal S. Toor, y Alexander J. Reisinger²

Esta publicación es parte de una serie de documentos de extensión científica titulada “Contaminantes en el medio ambiente urbano”, cuyo objetivo es proporcionar a los funcionarios estatales, gobiernos locales, científicos, consultores y ciudadanos: (1) una comprensión básica de la ocurrencia, efectos tóxicos y fuente de los diversos contaminantes en el medio ambiente y (2) una guía sobre formas de proteger a la salud humana y al medio ambiente de los contaminantes.

Introducción y Propósito

Los perfluoroalquilos también se conocen como perfluorocarbonos (PFC) y en inglés como perfluoroalkyl substances (PFASs). Entender por qué los perfluoroalquilos se encuentran en el medio ambiente es importante ya que estos compuestos son los productos químicos artificiales más comunes y persistentes en el planeta. Algunos de los productos más comunes que contienen perfluoroalquilos son sartenes de teflón, utensilios de cocina antiadherente, chaquetas impermeables (como Gore-Tex), espumas de extinción de incendios, envases de alimentos, alfombras y telas para muebles. Los perfluoroalquilos poseen un largo tiempo de residencia en el medio ambiente, lo que significa que al igual que otros productos químicos persistentes (como el DDT), los perfluoroalquilos puede acumularse en los organismos en niveles que causan efectos nocivos.

Los perfluoroalquilos están presentes en muchas matrices ambientales como el agua, los sedimentos, y la vida silvestre (Houde et al. 2011). En ciertas concentraciones (no necesariamente muy altas), son perjudiciales y potencialmente tóxicos para vertebrados como peces, aves, y mamíferos. El ácido perfluorooctanoico (PFOA) y sulfonato perfluorooctanoico (PFOS) son dos tipos de perfluoroalquilos sumamente distribuidos en el medio ambiente, incluso se cree que están presentes en la sangre, la leche materna, los riñones y el hígado de cada persona en la sociedad moderna (Kannan et al. 2004).

Existen muchos tipos de PFAS los que se agrupan de acuerdo a la cantidad de átomos de carbono que están presentes en su estructura química. En este documento nos centraremos en los PFAS más comúnmente encontrados en el medio ambiente (perfluoroalquilos lineales que tienen de 5 a 14 átomos de carbono), como el PFOA y PFOS.

Algunos investigadores afirman que los efectos adversos de PFAS en la población humana en general son muy poco probables debido a los bajos niveles de exposición (Stahl et al. 2011). Por ejemplo, la exposición de la población general puede ser 100 veces menor que las exposiciones ocupacionales en los lugares de trabajo donde PFAS se fabrican y/o se añaden a los productos (Olsen et al. 1999). Sin embargo, el trabajo toxicológico en animales de laboratorio indica

1. Este documento, SL418-Span, es uno de una serie de publicaciones del Departamento de Ciencias del Suelo y Agua, UF/IFAS Extensión. Fecha de primera publicación julio 2015. Revisado noviembre 2018. Visite nuestro sitio web EDIS en <http://edis.ifas.ufl.edu>.
2. Ignacio A. Rodriguez-Jorquera, es investigador postdoctoral en el departamento de Conservación de la Vida Silvestre y Ecología; Gurpal S. Toor, es profesor asociado en el departamento de Ciencias del Suelo y del Agua, Laboratorio de Calidad del Agua, Centro de Investigación y Educación del Costa del Golfo de la Universidad de Florida; y Alexander J. Reisinger, profesor asistente, Departamento de Ciencia del Suelo y del Agua; UF/IFAS Extensión, Gainesville, FL 32611.

The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS) is an Equal Opportunity Institution authorized to provide research, educational information and other services only to individuals and institutions that function with non-discrimination with respect to race, creed, color, religion, age, disability, sex, sexual orientation, marital status, national origin, political opinions or affiliations. For more information on obtaining other UF/IFAS Extension publications, contact your county's UF/IFAS Extension office.

U.S. Department of Agriculture, UF/IFAS Extension Service, University of Florida, IFAS, Florida A & M University Cooperative Extension Program, and Boards of County Commissioners Cooperating. Nick T. Place, dean for UF/IFAS Extension.

que los PFAS pueden causar efectos en el desarrollo (crecimiento) (Du et al. 2009), reproducción (Oakes et al. 2004), y la supresión de la respuesta inmune normal (Yang et al. 2002). Por otra parte, PFAS son compuestos potencialmente cancerígenos (que causan cáncer) (Jacquet et al. 2012). Por lo tanto, es importante conocer las fuentes y la toxicidad potencial de los PFASs con el fin de encontrar formas de protegernos nosotros y al medio ambiente de los PFAS.

El propósito de este documento es discutir la ocurrencia, el uso, la exposición y los potenciales efectos nocivos de los PFAS a los seres humanos y al medio ambiente, así como sugerir potenciales soluciones para reducir la exposición a los PFAS.

¿Qué son los perfluoroalquilos?

Los perfluoroalquilos son productos químicos orgánicos artificiales formados por una cadena de carbonos, donde todos los átomos de hidrógeno son reemplazados con átomos de flúor (Figura 1). Existen cientos de tipos de PFAS, algunos tienen cadenas de carbonos cortas (menos de cinco átomos de carbono) que tienden a volatilizarse (evaporarse), otros son más estables (no se evaporan) y tienen una cadena larga (de 5 a 14 átomos de carbono) como PFOS y PFOA. Los PFAS más estables están muy distribuidos en el medio ambiente, debido a que no se degradan.

Estructura Química del PFOA

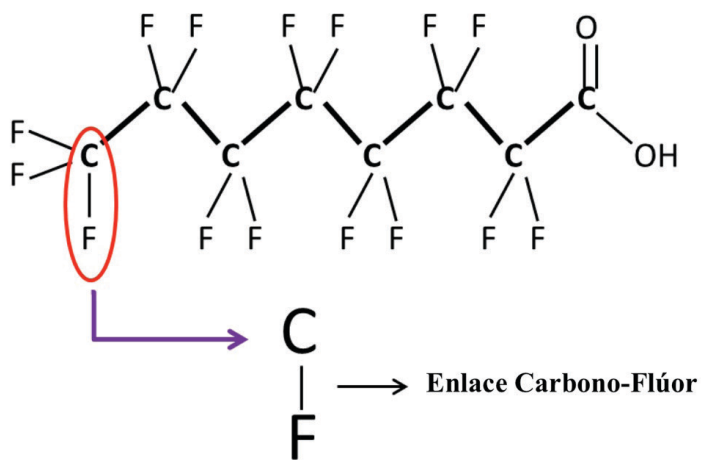


Figura 1. Estructura química del ácido perfluorooctanoico (PFOA).
Credits: Ignacio A. Rodríguez-Jorquera, UF/IFAS

La presencia del enlace carbono-flúor confiere a los PFAS una extraordinaria estabilidad química en un amplio rango de calor, ya que este enlace se considera el enlace covalente más fuerte en la química orgánica. La fortaleza de este enlace es una de las razones principales por la que estos compuestos son usados ampliamente pero, también es la

razón por la cual los PFAS no se degradan en el medio ambiente y son extremadamente persistentes.

¿Cuáles son las fuentes de PFAS en el medio ambiente?

Algunas de las fuentes más conocidas de PFAS son los sartenes de teflón y utensilios de cocina antiadherente (Figura 2). Los PFAS tiene en su estructura química un extremo hidrófobo (repele el agua) y uno hidrófilo (con afinidad por el agua), es por esto que se utilizan para combatir las manchas en textiles en productos como Scotchgard. Muchos productos como ropa, chaquetas impermeables (Gore-Tex), espumas para extinguir incendios, envases de alimentos, alfombras, telas para muebles y pesticidas, también contienen PFAS. Las industrias aeroespacial, automotriz y electrónica usan PFAS debido a sus excelentes propiedades tensoactivas que permiten reducir la fricción en los motores y así mejorar la eficiencia de estos.



Figura 2. Ejemplo de fuentes comunes de perfluoroalquilos para el medio ambiente. En dirección de las agujas del reloj: (1) Sartén antiadherente (Teflón) (2) Tela impermeable, (3) espuma extintora de fuego, (4) envoltorios de comida rápida.

Credits: iStock/Thinkstock.com (non-stick pan, waterproof textile, and fire fighting foam)/Digital Vision/Thinkstock.com (fast food)

La producción de PFAS en los Estados Unidos ha estado en declive desde el 2002 debido a que su principal productor mundial “3M Company”, dejó de producir PFOS voluntariamente. Otros PFAS como el PFOA se producen ahora en cantidades reducidas y ocho de los principales productores de PFOA han voluntariamente acordado eliminar su producción para el año 2015 (US EPA). Sin embargo, otros PFAS son importados a USA y tienen usos limitados y específicos. Adicionalmente, PFOS y PFOA pueden producirse como subproductos de otros PFAS parentales a través de

la degradación, y estos subproductos están presentes en muchos productos. Así que, aunque la eliminación gradual es buena para eliminar las fuentes futuras, esto no significa que estos compuestos desaparecerán completamente del ambiente. Al igual que otros contaminantes persistentes como el DDT y los PCB, el legado de los PFAS puede estar con nosotros durante mucho tiempo.

¿Por qué están los PFAS tan distribuidos en el medio ambiente?

Porque los PFAS se utilizan en muchas aplicaciones de la vida diaria. Estos compuestos son liberados al medio ambiente: (1) indirectamente como resultado de la degradación en el medio ambiente de compuestos originales (parentales) que son muy usados en el hogar y las industrias o (2) directamente a través de la fabricación y productos de consumo doméstico (Prevedouros et al. 2005).

Los dos principales PFAS (PFOS y PFOA), se encuentran muy presentes en el medio ambiente ya que no se degradan ni se convierten en otros compuestos (Ahrens 2011; Gladysz y Jurisch 2012). Por lo tanto, al igual que muchos otros contaminantes de origen humano, los PFAS terminan en los cuerpos de agua y en el suelo. La presencia y distribución de PFAS en los diferentes componentes del medio acuático (sedimentos y organismos) se reconoce como un tema de emergente preocupación.

El impacto de los PFAS en la vida silvestre aún no ha sido establecido. Sin embargo, los PFAS se han detectado en muchos tipos de fauna que viven en zonas remotas, como los osos polares en el Ártico y las aves marinas en la Antártida (Houde et al. 2011). Como los PFAS se originan principalmente en zonas urbanas, no es de extrañar que las masas de agua en las zonas urbanas tiendan a tener mayor incidencia de PFAS. Por lo tanto, organismos acuáticos en cuerpos de agua urbanos pueden estar más propensos a acumular PFAS y exhibir los posibles efectos nocivos.

Debido a que los vertebrados (incluyendo a los humanos) no pueden metabolizar PFOS ni PFOA (Stahl et al. 2011), su eliminación es muy difícil y lenta para el cuerpo humano. Se estima que los seres humanos necesitan unos tres años para eliminar la mitad de las concentraciones PFAS presentes en el cuerpo (Olsen et al. 2007).

¿Cómo se puede estar expuesto a los PFAS?

Usted puede estar expuesto a los PFAS por las vías oral, cutánea (piel), o por inhalación. La vía oral resulta en una rápida y casi total (95%) asimilación de los PFAS en el cuerpo (Kudo y Kawashima 2003). Teniendo en cuenta la popularidad de los productos que contienen PFAS, las vías de exposición más comunes para los seres humanos son los alimentos, los utensilios de cocina, el agua y el polvo del hogar, como se muestra en la Figura 3 (Stahl et al., 2011).

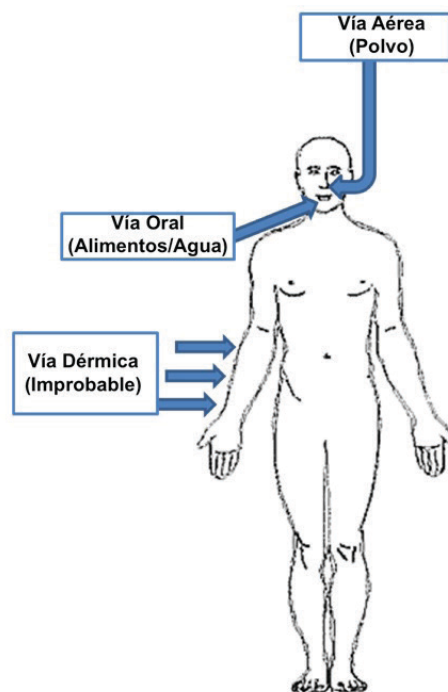


Figura 3. Diagrama de las rutas de exposición a PFAS.
Credits: Ignacio Rodríguez-Jorquera, UF/IFAS

Vía oral: En adultos, la exposición al PFOA y al PFOS puede ocurrir a partir de los alimentos cultivados en suelos contaminados (por ejemplo, papas, maíz y trigo) y por el consumo de pescado, carne o leche de animales previamente expuestos a PFASs (Stahl et al 2011). Como los PFASs se utilizan para impermeabilizar envoltorios de comida, el traspaso de PFASs a los alimentos ha sido comprobado, así como la transferencia desde los utensilios de cocina antiadherentes (Stahl et al., 2011). El agua potable y otras fuentes acuáticas son también fuentes importantes de exposición. Por ejemplo, el pescado representa el 90% del total de la exposición de PFOS en la dieta de los humanos (Stahl et al. 2011).

Los PFAS también puede ingresar en el cuerpo debido a la ingestión del polvo provenientes de los productos para el hogar que contengan PFAS, tales como alfombras, zapatos, muebles o textiles (Stahl et al. 2011). Estimar estas rutas

de exposición es difícil porque existen un gran número de productos que contienen PFAS. Algunos autores consideran esta ruta insignificante en comparación con la ingesta de alimentos (Stahl et al. 2011).

La presencia de PFOS y PFOA en la leche materna también ha sido demostrada por estudios en varios países. La exposición postnatal de los niños en los países occidentales y altamente industrializados puede ser especialmente significativa a través de la leche materna (Fromme et al. 2009).

Vía cutánea (dérmica): Estudios realizados en roedores sugieren que la exposición a PFAS a través de la piel es posible aunque menos relevante que la exposición oral.

Vía respiratoria: No se dispone actualmente de información suficiente en relación con la exposición de PFAS por inhalación. Es evidente que el polvo doméstico puede contener cantidades bastante altas de PFAS (Kato et al. 2009). Sin embargo, los estudios que utilizan modelos para estimar esta exposición determinaron que la inhalación es la ruta menos probable de exposición, siendo 100 veces menos que la exposición oral.

¿Cuáles son los efectos de los PFAS en los animales y en la salud humana?

En animales de laboratorio, los efectos negativos causados por exposiciones a PFASs tanto de corto plazo (aguda) y a altas concentraciones, como a exposiciones a bajas concentraciones y de largo plazo (crónica) han sido reportados. Los estudios en humanos se limitan relacionar las enfermedades/problemas de conducta y concentraciones relativamente altas de PFASs en sangre, pero los estudios disponibles siguen siendo insuficientes para declarar PFASs como la causa de enfermedades en los seres humanos. Sin embargo, la evidencia sugiere que PFAS podría alterar los niveles de hormonas tiroideas (hormona clave para la regulación del metabolismo) en la mujer embarazada y en los niños (Wang et al. 2014).

En general, varios efectos, incluyendo la alteración del metabolismo de los lípidos (grasas), sistema endocrino, sistema inmune, y efectos sobre el desarrollo se han demostrado en diferentes clases de animales de laboratorio y de vida silvestre (Liu et al. 2007). En animales de laboratorio, los PFASs pueden perturbar el metabolismo lipídico y el transporte, con resultados contradictorios debido a la

capacidad de los PFAS para aumentar o reducir los niveles de colesterol en el plasma.

Curiosamente, los investigadores han asociado niveles altos de colesterol en la sangre humana con la presencia de altos niveles de PFASs (Eriksen et al. 2013), pero el mecanismo por el cual se conectan estas dos variables no está claro. Debido a que solo existen asociaciones simples como única prueba, no es posible asumir que los PFASs están causando el efecto nocivo en los seres humanos.

El cáncer se ha observado en el hígado, órganos reproductivos y el páncreas en animales de laboratorio expuestos crónicamente a PFOS (Stahl et al. 2011). En ratas expuestas a PFAS durante el embarazo, se han reportado efectos en el desarrollo, tales como la reducción de peso al nacer y el tamaño de la camada. Recientemente, se han añadido los efectos sobre el sistema nervioso (neurotoxicidad) y los cambios de comportamiento (hiperactividad) a la lista de efectos nocivos causados por PFAS en animales de laboratorio (Mariussen 2012).

¿Cuáles son los impactos de los PFAS sobre el medio ambiente?

Los potenciales efectos deletéreos causados por PFASs en animales de la fauna y la biota acuática incluyen estrogenicidad (feminización), alteración de la producción de hormonas sexuales, la reducción de la producción de huevos (en peces), la alteración de la arquitectura testicular, depresión del sistema inmune, y efectos tóxicos en el hígado (Houde et al. 2011).

Los ecosistemas acuáticos (como lagos, arroyos, ríos y estuarios) son particularmente vulnerables a la contaminación de los PFASs. Por ejemplo, las plantas de tratamiento de aguas residuales no son capaces de reducir o eliminar PFASs en el agua o en los lodos activados (biosólidos). De hecho, debido a que las bacterias pueden transformar a los compuestos precursores de los PFAS, las concentraciones de estos en las aguas residuales a la salida de las plantas de tratamiento suelen ser más elevadas en comparación con las fuentes de entrada. Los efectos nocivos de los PFASs se han observado en varios organismos acuáticos como invertebrados y peces.

Investigadores han mostrado que un tipo de PFASs volátiles, la perfluoro tributilamina (PFTBA), puede contribuir al calentamiento global debido a que en la atmósfera este compuesto puede retener más calor que el dióxido de carbono (CO₂). Además, la persistencia inherente de los PFAS hace que su contribución al efecto invernadero sea

mayor que el CO₂ debido a que los PFAS permanecerían en la atmósfera durante un período más largo de tiempo (Hong et al. 2013).

Mejores Prácticas para Protegerse y Proteger el Ambiente de la Exposición a PFAS

La mejor manera de protegerse es reducir la exposición potencial a PFAS tanto como sea posible. En primer lugar, minimizar la compra y uso de productos que contienen PFASs. Por ejemplo, utensilios de cocina y sartenes que no contienen PFOA están disponibles en el mercado. En segundo lugar, la reducción del consumo de alimentos (generalmente alimentos preparados congelados) o el uso de productos que contienen PFASs también podría reducir el riesgo de exposición.

Reduzca el consumo de alimentos preparados. Por ejemplo, pizzas y palomitas de maíz para microondas han sido catalogadas como una fuente importante de PFASs porque el recubrimiento interior de los paquetes contiene PFASs.

Evitar la compra de ropa y muebles etiquetados como resistente a las manchas, ya que la mayoría de estos contienen PFASs.

En el 2010, la EPA (Environmental Protection Agency, USA) sugirió 0.4 µg/L de PFOA y 0.2 µg/L de PFOS como concentraciones máximas permitidas para el agua potable, ya que se ha encontrado PFAS en algunas muestras de agua potable en USA. Por lo tanto, se recomienda utilizar filtros de carbón activado (agua filtrada) para evitar la posible exposición a PFAS a través del agua para beber.

Al reducir el uso de productos que contengan PFAS, también estarás ayudando a reducir las cantidades de estos productos químicos en el ambiente, ya que el uso doméstico de estos productos es la principal fuente de PFAS para el medio ambiente. La degradación de los productos que contienen PFASs es también una fuente de estos contaminantes para el ambiente, así como el polvo, el agua (de su casa hacia ríos y quebradas ya que las plantas de tratamiento de aguas no pueden eliminarlos) así como también los suelos contaminados.

Resumen

Los PFASs comprenden un grupo de sustancias químicas artificiales de alta resistencia que pueden tener efectos nocivos sobre el medio ambiente y posiblemente en los seres humanos. La producción de PFAS en los Estados

Unidos se ha reducido, pero todavía están presentes en muchas aplicaciones domésticas e industriales. Para los seres humanos, las principales vías de exposición a PFASs son las dietas que contienen pescado y alimentos preparados (envases y envoltorios de comidas preparadas). El agua potable también puede ser una fuente importante especialmente en zonas con alta concentración de PFASs en el agua potable. De todos los tipos de PFASs, PFOS es el más común y representa la mayor preocupación para la salud humana y el medio ambiente. La toxicidad en el hígado y la alteración del metabolismo lipídico (grasas, incluyendo el colesterol) son los efectos más frecuentes en las pruebas experimentales. El cáncer se ha observado en animales de experimentación expuestos crónicamente a PFAS. Reciente evidencia reveló una capacidad inmunotóxica y neurotóxica de los PFASs en animales de laboratorio. La mayor parte de la investigación actual es en animales de laboratorio expuestos a un solo tipo de PFASs (principalmente PFOS), por lo tanto, una evaluación completa y realista del riesgo que presentan estos compuestos (incluyendo exposiciones experimentales usando mezclas de PFASs) aún no está disponible. Mientras tanto, para reducir la auto-exposición y disminuir la contribución PFASs al ambiente, se recomienda evitar el uso de productos que contengan PFASs en hogares (por ejemplo, artículos de cocina con teflón, telas con anti-manchas) y evitar el consumo de alimentos que hayan estado en contacto con PFAS a través de su embalaje (por ejemplo, las palomitas de maíz de microondas y las pizzas).

Otras Lecturas

Para obtener información más detallada sobre PFAS (en Inglés), se recomiendan los siguientes artículos:

Ahrens, L. 2011. "Polyfluoroalkyl compounds in the aquatic environment: a review of their occurrence and fate." *Journal of Environmental Monitoring* 13: 20–31.

Houde, M., A. O. De Silva, D. C. G. Muir, and R. J. Letcher. 2011. "Monitoring of Perfluorinated Compounds in Aquatic Biota: An Updated Review." *Environmental Science & Technology* 45: 7962–7973.

Rodriguez-Jorquera, I., K. J. Kroll, G. S. Toor, and N. D. Denslow. 2015. "Transcriptional and Physiological Response of Fathead Minnows (*Pimephales promelas*) Exposed to Urban Waters Entering into Wildlife Protected Areas." *Environmental Pollution* 199: 155–165. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.01.021.

Stahl, T., Mattern, D., Brunn, H. 2011. "Toxicology of perfluorinated compounds." *Environmental Sciences Europe* 23:38, 1–52.

Referencias

Ahrens, L. 2011. "Polyfluoroalkyl compounds in the aquatic environment: a review of their occurrence and fate." *Journal of Environmental Monitoring* 13: 20–31.

Du, Y., X. Shi, C. Liu, K. Yu, and B. Zhou. 2009. "Chronic effects of water-borne PFOS exposure on growth, survival and hepatotoxicity in zebrafish: A partial life-cycle test." *Chemosphere* 74: 723–729.

Eriksen, K. T., O. Raaschou-Nielsen, J. K. McLaughlin, L. Lipworth, A. Tjønneland, K. Overvad, and M. Sørensen. 2013. "Association between Plasma PFOA and PFOS Levels and Total Cholesterol in a Middle-Aged Danish Population." *PloS ONE* 8, e56969.

Fromme, H., S. A. Tittlemier, W. Völkel, M. Wilhelm, and D. Twardella. 2009. "Perfluorinated compounds—Exposure assessment for the general population in western countries." *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 212: 239–270.

Gladysz, J., and M. Jurisch. 2012. "Structural, Physical, and Chemical Properties of Fluorous Compounds," in *Fluorous Chemistry*, edited by I. T. Horváth. Springer Berlin Heidelberg, pp. 1–23.

Hong, A. C., C. J. Young, M. D. Hurley, T. J. Wallington, and S. A. Mabury. 2013. "Perfluorotributylamine: A novel long-lived greenhouse gas." *Geophysical Research Letters* 40(22): 6010–6015.

Houde, M., A. O. De Silva, D. C. G. Muir, and R. J. Letcher. 2011. "Monitoring of Perfluorinated Compounds in Aquatic Biota: An Updated Review." *Environmental Science & Technology* 45: 7962–7973.

Jacquet, N., M. A. Maire, Y. Landkocz, and P. Vasseur. 2012. "Carcinogenic potency of perfluorooctane sulfonate (PFOS) on Syrian hamster embryo (SHE) cells." *Archives of Toxicology* 86: 305–314.

Kannan, K., S. Corsolini, J. Falandysz, G. Fillmann, K. S. Kumar, B. G. Loganathan, M. A. Mohd, J. Olivero, N. V. Wouwe, J. H. Yang, and K. M. Aldous. 2004. "Perfluorooctanesulfonate and Related Fluorochemicals in Human Blood from Several Countries." *Environmental Science & Technology* 38: 4489–4495.

Kato, K., A. M. Calafat, and L. L. Needham. 2009. "Polyfluoroalkyl chemicals in house dust." *Environ Res* 109: 518–523.

Kudo, N., and Y. Kawashima. 2003. "Toxicity and Toxicokinetics of Perfluorooctanoic Acid in Humans and Animals." *The Journal of Toxicological Sciences* 28: 49–57.

Liu, C., Y. Du, and B. Zhou. 2007. "Evaluation of estrogenic activities and mechanism of action of perfluorinated chemicals determined by vitellogenin induction in primary cultured tilapia hepatocytes." *Aquatic Toxicology* 85: 267–277.

Mariussen, E. 2012. "Neurotoxic effects of perfluoroalkylated compounds: mechanisms of action and environmental relevance." *Archives of Toxicology* 86: 1349–1367.

Oakes, K. D., P. K. Sibley, K. R. Solomon, S. A. Mabury, and G. J. Van Der Kraak. 2004. "Impact of perfluorooctanoic acid on fathead minnow (*Pimephales promelas*) fatty acyl-coa oxidase activity, circulating steroids, and reproduction in outdoor microcosms." *Environmental Toxicology and Chemistry* 23: 1912–1919.

Olsen, G. W., J. M. Burris, D. J. Ehresman, J. W. Froehlich, A. M. Seacat, J. L. Butenhoff, and L. R. Zobel. 2007. "Half-Life of Serum Elimination of Perfluorooctanesulfonate, Perfluorohexanesulfonate, and Perfluorooctanoate in Retired Fluorochemical Production Workers." *Environmental Health Perspectives* 115: 1298–1305.

Olsen, G. W., J. M. Burris, J. H. Mandel, and L. R. Zobel. 1999. "Serum Perfluorooctane Sulfonate and Hepatic and Lipid Clinical Chemistry Tests in Fluorochemical Production Employees." *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 41: 799–806.

Stahl, T., Mattern, D., Brunn, H. 2011. "Toxicology of perfluorinated compounds." *Environmental Sciences Europe* 23:38, 1–52.

Wang, Y., W. J. Rogan, P. C. Chen, G.-W. Lien, H. Y. Chen, Y. C. Tseng, M. P. Longnecker, and S. L. Wang. 2014. "Association between maternal serum perfluoroalkyl substances during pregnancy and maternal and cord thyroid hormones: Taiwan maternal and infant cohort study." *Environmental Health Perspectives* 122: 529–534.

Yang, Q., M. Abedi-Valugerdi, Y. Xie, X.-Y. Zhao, G. Möller, B. Dean Nelson, and J. W. DePierre. 2002. "Potent suppression of the adaptive immune response in mice upon dietary exposure to the potent peroxisome proliferator, perfluorooctanoic acid." *International Immunopharmacology* 2: 389–397