

Historia y Uso de Sustancias Per- y Polifluoroalquiladas (PFAS)

1 INTRODUCCIÓN

Las propiedades físicas y químicas únicas de las sustancias per- y polifluoroalquiladas (PFAS) abarcan la impermeabilidad de agua y aceites, resistencia térmica, y reductores de fricción en una amplia gama de productos usados por los consumidores y la industria. Por ejemplo, PFAS, han sido usadas en recubrimientos para material textil, productos de papel, utensilios de cocina, para crear espumas contraincendios, y también tienen una variedad de aplicaciones en las industrias aeroespacial, fotográfica, de semiconductores, automotriz, de construcción, electrónica e industrias de aviación (KEMI 2015; USEPA 2017b). La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA por sus siglas en inglés) ha compilado una fuente en internet para información de las PFAS. La información incluye temas como Política y Orientación, Química y Comportamiento, Ocurrencia, Toxicología, Caracterización del Sitio y Tecnologías de Remediación (USEPA 2017h).

La comunidad científica está aumentando su conocimiento y entendimiento sobre los impactos a la salud y al medio ambiente asociados con la producción de PFAS. Algunos PFAS, más comúnmente algunos de los ácidos perfluoroalquilados (PFAAs), tales como el ácido perfluorooctanoico (PFOA) y sulfonato perfluorooctanoico (PFOS), son móviles, persistentes, bioacumulativos y no se tiene conocimiento de su degradación en el medio ambiente (USEPA 2003, ATSDR 2015, NTP 2016, Concawe 2016).

Entendiendo la historia de la producción de PFAS, así como los usos en el pasado y el presente, permite la identificación de potenciales fuentes de PFAS en el ambiente, posibles mecanismos de emisión y relaciones asociadas con el medio y el receptor.

El ITRC ha desarrollado una serie de seis fichas técnicas para resumir los nuevos avances científicos y tecnológicos respecto a las PFAS. El propósito de esta ficha técnica es:

- Proveer una visión general del descubrimiento y desarrollo de PFAS y su subsecuente detección en el ambiente.
- Describir preocupaciones emergentes de efectos potencialmente adversos a la salud humana y esfuerzos para reducir o reemplazar con fórmulas alternas.
- Identificar las mayores fuentes de PFAS en el ambiente, así como otras fuentes de PFAS en el ambiente que puedan ser de interés.

2 DESCUBRIMIENTO E HISTORIA DE PRODUCCIÓN

Las PFAS son una compleja familia de más de 3,000 químicos orgánicos sintéticos fluorados (Wang et al. 2017) que han sido producidos desde mediados del siglo 20, sin embargo, no todos siguen en uso o producción. La tabla 2-1 muestra una línea de tiempo general del inicio de la síntesis y producción comercial de algunas de las más conocidas PFAS, junto con otros productos frecuentemente asociados.

Tabla 2-1. Descubrimiento e historia de fabricación de algunas PFAS

PFAS ¹	Periodo de Desarrollo							
	1930s	1940s	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s
PTFE	Descubrimiento	Recubrimientos anti adherentes			Fabricación de Impermeables			
PFOS		Producción Inicial	Productos Inoxidables y Resistentes al Agua	Espuma Contraincendios		Reducción de PFOS, PFOA, PFNA (y otras PFAS ²) por parte de los Estados Unidos de América.		
PFOA		Producción Inicial	Recubrimientos Protectores					
PFNA					Producción Inicial	Resinas de Construcción		
Fluoro-telómeros					Producción Inicial	Espumas Contraincendios		Espuma Contraincendios predominante
Procesos Dominantes³	Fluorización Electroquímica (ECF por sus siglas en inglés)							Fluoro-telomerización (cadenas pequeñas ECF)
Pre-Descubrimiento del Compuesto/ Producción Reducida			Síntesis Química Inicial / Producción			Productos Comerciales Introducidos y Usados		
Notas:								
<ol style="list-style-type: none"> Esta tabla incluye fluoropolimeros, PFAAs, y fluorotelómeros. PTFE (politetrafluoroetileno) es un fluoropolimero. PFOS, PFOA, y PFNA (ácido perfluorononanoico) son PFAAs. Consultar Sección 3.4. El proceso de producción es mostrado en la tabla; notar, sin embargo, la ECF y la fluorotelomerización han sido y continúan siendo usadas para la producción de PFAS específicas 								
Fuentes: Prevedouros et al. 2006; Concawe 2016; Chemours 2017; Gore-Tex 2017; Academia Naval de Investigación de los E.U.A. 2017								

Las PFAS son fabricadas usando distintos procesos. Dos procesos han sido usados mayoritariamente para producir fluorotensoactivos (incluyendo PFAAs) y polímeros fluorados de cadena lateral: fluorización electroquímica (ECF) y telomerización (KEMI 2015). La ECF fue autorizada por 3M en los años cuarenta (Banks, Smart, and Tatlow 1994), y usada por 3M hasta el 2001. La ECF produce una mezcla de sustancias con cadenas de carbonos pares e impares con aproximadamente 70% de su composición lineal y el 30% ramificada (Concawe 2016). La telomerización fue desarrollada en los setentas (Benskin 2011) y produce principalmente isómeros de cadenas de carbonos pares y lineales (Kissa 2001; Parsons et al. 2008).

3 INVESTIGACIONES AMBIENTALES Y DE SALUD

3.1 Primeros Estudios

Estudios en donde se encontraron algunas PFAS en la sangre de trabajadores ocupacionalmente expuestos en la década de los setenta y reportes sobre detecciones en la sangre de la población general en los noventa (Buck et al. 2011) llevó al incremento en la concientización de las PFAAs en el medio ambiente, asociación con la exposición humana, y los posibles efectos a la salud. PFAAs (como el PFOS y el PFOA) son encontrados en la sangre y suero sanguíneo de la mayoría de las personas, expuestas a estos en el lugar de trabajo o no. Esto se debe a su uso extendido, habilidad para enlazarse con las proteínas en la sangre y su larga vida en el cuerpo humano (Kannan et al. 2004; Karrman et al. 2006; Olsen et al. 2003). Estudios de laboratorio usando animales y estudios epidemiológicos de poblaciones humanas muestran que la exposición a algunas PFAS podría estar asociada con una gran variedad de efectos adversos a la salud humana (USEPA 2016d).

A pesar de que algunas PFAS han sido fabricadas por más de 50 años, las PFAS no fueron ampliamente documentadas en pruebas ambientales hasta el principio de los años 2000. La detección temprana con límites bajos de notificación se vio obstaculizada debido a los retos de la capacidad analítica surgiendo de las propiedades tensoactivas únicas de las PFAS (Giesy and Kannan 2001; 3M 2000). Muchos artículos han sido publicados mostrando la amplia distribución de algunos PFAS, como los PFAAs, en varias formas incluyendo sedimentos, agua superficial y subterránea, vida silvestre y sangre humana (plasma y suero sanguíneo) (Kannan et al. 2004; Yamashita et al. 2005; Higgins et al. 2005; Rankin et al. 2016). Algunos PFAS (como los PFAAs) son encontrados en muchos lugares del mundo, incluso en áreas lejanas de donde se usaba o producía (Houde et al. 2011).

3.2 Preocupación Creciente

La concientización y el énfasis en varias PFAS han evolucionado. Primero se enfocaba en la cadena más larga (ver Sección 3.4), ácidos perfluoroalquilados (PFAAs). En 2016, la USEPA expidió un Asesoramiento de Salud Vitalicio (LHA por sus siglas en inglés) para dos de los PFAAs más detectados, PFOA Y PFOS. Establecido en 70 nanogramos por litro (ng/L, equivalente a

partes por trillón [ppt]), el LHA es aplicable para cada PFAA, así como mezclados, para agua potable (USEPA 2016d).

Seis PFAAs adicionales han llamado la atención recientemente después de su inclusión en la Regla de Monitoreo de Contaminantes No Regulados (UCMR por sus siglas en inglés) de la USEPA. La tercera ronda de monitoreo, o UCMR3, fue promulgada en 2012 para rastrear químicos sospechosos de encontrarse en agua potable, pero no tienen estándares sanitarios por la Ley de Seguridad para el Agua Potable (SDWA por sus siglas en inglés). Un resumen de la información está incluido in la *Ficha Técnica de Regulaciones, Guía y Avisos*.

Ahora muchas agencias estatales regulatorias piden o requieren una lista expandida de sustancias perfluoroalquiladas (de cadenas largas y cortas), también los fluorotelómeros están llamando la atención. Esta progresión es ilustrada en la Figura 3-1.

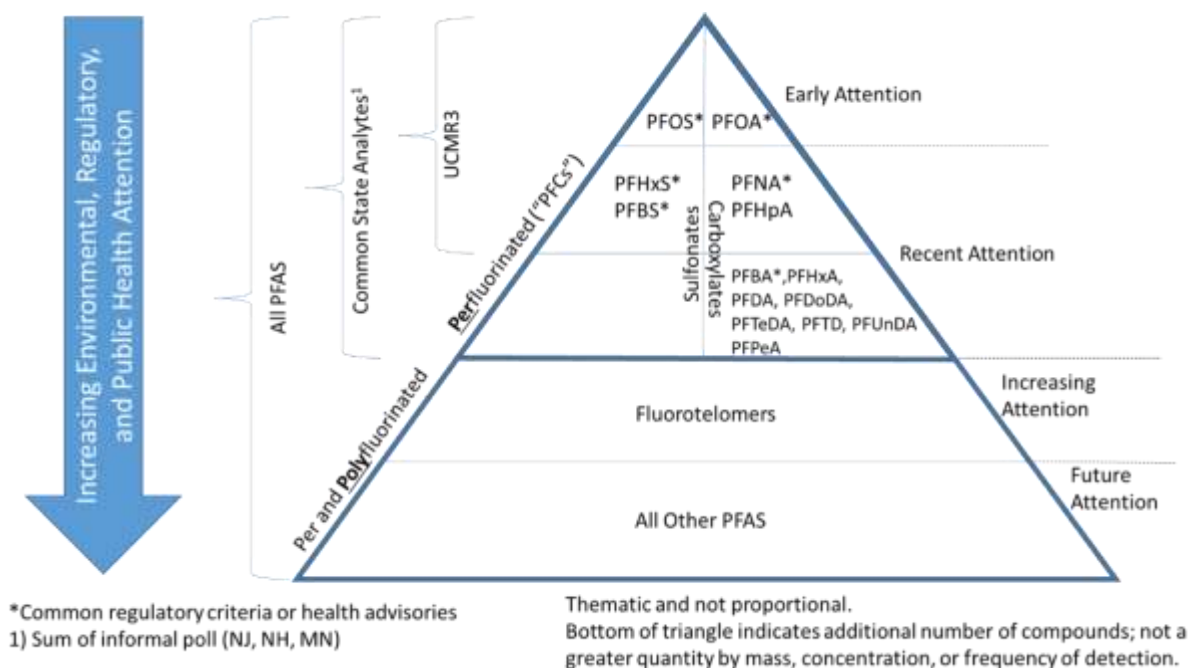


Figura 3-1. Concientización Creciente y énfasis en la ocurrencia de las PFAS en el ambiente.

(Fuente: J. Hale, Kleinfelder, usado con permiso)

3.3 Convención de Estocolmo sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes.

La convención de Estocolmo sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (POPs por sus siglas en inglés) es un tratado de las Naciones Unidas firmado en 2001 dirigido a reducir o eliminar la producción, uso, y emisión de los principales POPs. Los POPs son definidos como compuestos

orgánicos sintéticos que, dependiendo de los grados, resisten degradación química, biológica y fotolítica (KEMI 2004 and 2005; USEPA 2017k).

En 2009, *el Anexo B de la Convención de Estocolmo* fue modificado para incluir PFOS, porque es persistente en el ambiente y no se tiene conocimiento que se degrade en alguna condición ambiental. Hasta el día de hoy, los Estados Unidos no ha ratificado la enmienda (KEMI 2017). De acuerdo con el sitio web de la Convención de Estocolmo, el PFOA y el PFHxS (ácido sulfónico perfluorohexanoico) actualmente están propuestos para ser añadidos.

3.4 Eliminación gradual de PFAS de cadena larga

Debido a la industria y las preocupaciones regulatorias sobre los potenciales impactos a la salud y el medio ambiente, ha habido una reducción en la fabricación y uso de PFAAs de cadena larga. Los PFAAs de cadena larga incluyen carboxilatos perfluorados (PFCAs) con ocho o más carbonos fluorados (por ejemplo, PFOA) y sulfonatos perfluorados (PFSAs) con seis o más carbonos fluorados (por ejemplo, PFHxS y PFOS), sus sales, y compuestos precursores capaces de formar PFAAs de cadena larga (USEPA 2009a; Buck et al. 2011; OECD 2013; Wang et al. 2015).

- En mayo del 2000, 3M, el principal fabricante a nivel mundial y el único en Estados Unidos de PFOS, anunció un reducimiento gradual voluntario de químicos de perfluorooctanol, incluyendo los PFOS, PFHxS, PFOA y productos relacionados. 3M completó esta fase de reducimiento gradual a finales del 2002 (USEPA 2003b; USEPA 2017e; 3M 2017b).
- La USEPA expidió Reglas de Nuevo Uso Significante (SNURs por sus siglas en inglés) bajo la Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA por sus siglas en inglés) para restringir cualquier uso o producción de 183 PFAS en el futuro, la cual incluye 88 de los PFOS relacionados con la eliminación gradual por 3M. Sin embargo, las SNURs permitieron el uso de pequeñas cantidades de algunas de esas PFAS en la industria de la fotografía, semiconductores, aguafuerte, recubrimientos metálicos, y aviación. También, gracias a la larga vida útil de las espumas contraincendios a base de PFOS, estos seguirán siendo producidos en varias instalaciones (ver Sección 4.2) (USEPA 2007). Las SNURs para algunos PFCAs y PFSAs han sido propuestos (USEPA 2015b).
- En enero del 2006, la USEPA inició el Programa Administrativo de PFOA (USEPA 2006b). Las ocho principales compañías productoras se comprometieron a reducir los PFOA, otros PFCAs de cadenas largas (como el ácido perfluorononanoico [PFNA] y el ácido perfluoronadecanoico) y productos subsecuentes (por ejemplo, 8:2 alcohol fluorotelomérico [FTOH]) que pueden ser convertidos en esos PFCAs de sus emisiones y producción. La USEPA indica que las ocho compañías satisficieron exitosamente las metas del programa, llegando a una reducción del 95% en 2010, y la eliminación total en 2015 (USEPA 2017e). Aunque las metas del programa fueron alcanzadas, materiales importados a los Estados Unidos pueden contener estos PFCAs y sus precursores.

Las PFAS son producidas de manera global. El reciente incremento en la producción de PFOA y PFAS relacionados en China, India, y Rusia han compensado potencialmente la reducción global anticipada con la reducción de los Estados Unidos (OECD 2015b). La producción de las PFAS en China se inició en la década de los ochentas (Banco Mundial 2017a y Banco Mundial 2017b) y la producción de PFOS incrementó con la reducción de PFAA de cadenas largas en los Estados Unidos (Concawe 2016). En el 2016, PFOS y sus derivados siguieron siendo producidos en Alemania, Italia y China (Witteveen+Bos and TTE 2016), pero para inicios del 2017, China fue el único productor de PFOS. China ha ratificado la Convención de Estocolmo sobre los POPs y una concesión del Fondo para el Medio Ambiente Global (GEF por sus siglas en inglés) fue aprobada en 2017 para apoyar la reducción de PFOS en China (Banco Mundial 2017a).

3.5 Reemplazo Químico

Los fabricantes han estado desarrollando tecnologías de reemplazo, incluyendo la reformulación o sustitución de sustancias de cadenas más largas con sustancias de perfluoroalquilos o polifluoradas de cadena más corta que incluyen, pero no están limitados a, compuestos fabricados a partir de ECF y fluorotelomerización, como: FTOH, derivados de fluoruro de perfluorobutano de sulfonilo (PBSF), por ejemplo, (sulfonato de perfluorobutano [PFBS] en lugar de los PFOS), polifluoroeteres (por ejemplo, GenX y ADONA usados en la fabricación de fluoropolímeros) y otros tipos de PFAS (Hori et al. 2006; OECD 2007; Herzke, Olson, and Posner 2012; Wang et al. 2013; Wang et al. 2015; Holmquist et al. 2016).

Muchas alternativas de PFAS de cadena larga son estructuralmente similares a sus predecesores y fabricados por las mismas compañías (Concawe 2016; Wang et al. 2015). Sin embargo, aún no es claro si estos químicos pueden lograr el mismo desempeño efectivo de algunos de sus predecesores. Por ejemplo, un estudio en el 2015 concluyó que no hay alternativas no fluoradas que tengan el desempeño técnico equivalente en textiles (Danish EPA 2015; 3M 1999; 3M 2006; 3M 2017).

Varios estudios sugieren algunos de los reemplazos de las PFAS pueden o no ser menos peligrosas que sus predecesores de cadena larga, a pesar de que la información al público en la mayoría de los químicos de reemplazo es limitada (Wang et al. 2015; RIVM 2016). Documentación respecto a la revisión de la USEPA de cientos de “PFAS teloméricas de cadena corta” sustitutos para PFAS de cadena larga está disponible bajo el Programa de Químicos Nuevos de la TSCA (OECD 2013; USEPA 2017g). Otra documentación respecto a la química de reemplazo está disponible en el FluoroCouncil (2017).

La información en contaminación ambiental por reemplazo de PFAS es limitada, y la mayoría no es detectada por métodos estándares analíticos (Wang et al. 2013). Los procesos de tratamiento usados para remover estos químicos de corrientes de desecho pueden ser no tan efectivas como con PFAS de cadenas más largas (Sun et al. 2016).

4 PRINCIPALES FUENTES DE PFAS EN EL AMBIENTE

Las PFAS son usadas en muchas aplicaciones industriales y comerciales. Las principales fuentes pudieron haber arrojado PFAS en el ambiente e impactar reservas de agua potable en muchas áreas de los Estados Unidos (Grupo de Trabajo Ambiental e Instituto de Investigación de Salud Ciencias Sociales y Ambiente de la Universidad del Noreste 2017).

4.1 Instalaciones de producción y fabricación

Mundialmente, instalaciones de fabricación primaria producen PFAS e instalaciones de fabricación secundaria usan PFAS para producir bienes. Debido a la solubilidad y la persistencia de muchos PFAS, mecanismos de liberación al ambiente asociados con estas instalaciones incluyen emisión y dispersión en el aire, derrames, y desecho de materiales y aguas residuales. Impactos potenciales al aire, suelo, agua superficial, agua pluvial y mantos acuíferos están presentes no sólo en áreas de emisiones, sino que también potencialmente en áreas aledañas (Shin et al. 2011). La Tabla 4-1 resume las potenciales fuentes de PFAS liberados al ambiente basados en el sector industrial. La fabricación de productos comerciales y bienes resumidos en la Sección 5 pueden ser también fuentes ambientales, pero no están incluidas en esta tabla.

Tabla 4-1. Fuentes Potencialmente Mayores de emisión de PFAS al ambiente

Sector	Usos	Referencias
Textiles y Cuero	Recubrimientos del fabricante o del consumidor para repeler agua, aceites o manchas. Las aplicaciones incluyen ropa de seguridad, sombrillas, tiendas de acampar, paños, materiales de construcción, alfombras y tapicería.	Rao and Baker 1994; Hekster, Laane, and de Voogt 2003; Brooke, Footitt, and Nwaogu 2004; Poulsen et al. 2005; Prevedouros et al. 2006; Walters and Santillo 2006, Trudel et al. 2008, Guo and Roache 2009; USEPA 2009a; Kotthoff et al. 2015; Ahrens 2011; Buck et al. 2011; UNEP 2011; Herzke, Olsson, and Posner 2012; Patagonia 2015; Kotthoff et al. 2015; ATSDR 2015
Productos de Papel	Recubrimientos superficiales para repeler grasa y humedad. Los usos incluyen empaques de papel (por ejemplo, cartón, formas autocopiables, envolturas de papel) y materiales en contacto con los alimentos (por ejemplo cajas de pizza, envoltorios de comida rápida, bolsas de palomitas de microondas, papel para hornear).	Rao and Baker 1994; Kissa 2001; Hekster, Laane, and de Voogt 2003; Poulsen et al. 2005; Trudel et al. 2008; Buck et al. 2011; UNEP 2011; Kotthoff et al. 2015; Schaidler et al. 2017
Enchapado y Grabado de Metales	Prevención de corrosión, reducción de desgaste mecánico, mejoras estéticas, agente tensioactivo, agente humectante / supresor de gases para galvanoplastia de cromo, cobre, níquel y estaño, y limpiador posterior a la colocación de placas.	USEPA 1996; USEPA 1998; Kissa 2001; Prevedouros et al. 2006; USEPA 2009b; UNEP 2011; OSHA 2013; KEMI 2015; Danish EPA 2015
Fabricación de Cable	Recubrimiento y Aislamiento.	Kissa 2001; van der Putte et al. 2010; ASTSWMO 2012

<p>Tensoactivos industriales, Resinas, Moldes y Plásticos.</p>	<p>Fabricación de plásticos y fluoropolimeros, hule, y revestimientos de liberación de molde de compresión; agentes fundentes de fontanería; revestimientos fluoroplásticos, resinas compuestas e ignífugo para policarbonato.</p>	<p>Kissa 2001; Renner 2001; Poulsen et al. 2005; Fricke and Lahl 2005; Prevedouros et al. 2006; Skutlarek, Exner, and Farber 2006; van der Putte et al. 2010; Buck et al. 2011; Herzke, Olsson, and Posner 2012; Kotthoff et al. 2015; Miteni 2016; Chemours 2017</p>
<p>Fotolitografía, Industria de Semiconductores</p>	<p>Fotoresistentes, revestimientos antireflectantes superiores, revestimientos antireflectantes inferiores y agentes de revelado, con otros usos, incluidos agentes tensioactivos, agentes humectantes y generación de fotoácidos.</p>	<p>SIA 2008; Choi et al. 2005; Rolland et al. 2004; Brooke, Footitt, and Nwaogu 2004; van der Putte et al. 2010; UNEP 2011; Herzke, Olsson, and Posner 2012</p>

4.2 Espumas Contraincendios con Flúor Clase B

Las espumas contraincendios que contienen flúor de clase B (espuma para combatir incendios) para extinguir incendios de líquidos inflamables incluyen espuma formadora de película acuosa (AFFF), fluoroproteína (FP), y espuma de fluoroproteína formadora de película (FFFP) (Concawe 2016). Estas espumas han sido guardadas y usadas para la supresión de incendios, entrenamiento contraincendios, y supresión de vapores inflamables en cientos de instalaciones militares y aeropuertos civiles (Hu et al. 2016) así como en refinerías de petróleo e instalaciones de almacenamiento y plantas productoras de químicos en los Estados Unidos. Adicionalmente, los departamentos de bomberos locales en comunidades han usado y mantenido cantidades de espuma contraincendios en sus inventarios. A pesar de la eliminación gradual de PFAAs de cadenas largas, estos productos aún tienen constituyentes de PFAA de cadena larga en espuma contraincendios debido a la gran vida útil de estos productos. Instalaciones que fabricaron espumas contraincendios también son fuentes potenciales.

Las espumas contraincendios son una compleja mezcla de PFAS desconocidos y conocidos de diferentes estructuras moleculares presentes en varias proporciones. Las espumas fueron fabricadas para cumplir con las especificaciones contraincendios en vez de ser formuladas para contener cierta mezcla de PFAS. Este tipo de espumas contraincendios han sido usadas desde la década de los sesenta. El Laboratorio de Investigación Naval de los Estados Unidos empezó la investigación en el desarrollo de espumas contraincendios en 1960, lo que llevó a avances en desempeño y un incremento en la seguridad (Laboratorio de Investigación Naval de los Estados Unidos 2017). Espumas fluorotelomeradas han sido usadas desde la década de los setenta y se han convertido en la espuma predominante después del 2001 cuando espumas a base de largas cadenas ECF fueron descontinuadas.

Espumas contraincendios son liberadas al ambiente a través de una variedad de prácticas y mecanismos (Anderson et al. 2016; Hale 2016):

- Liberación de volúmenes pequeños de espuma se concentran durante el almacenamiento, transferencia o calibración del equipo.
- Descargas de volumen moderado de solución espumosa para prueba de aparatos.
- Descarga ocasional de alto volumen de espuma para combatir incendios y supresión/prevenición de incendios.
- Fugas en el proceso de distribución entre el almacenamiento y las zonas de bombeo.

La espuma contraincendios es aplicada mezclando el concentrado de espuma y agua para hacer una solución espumosa. Cuando se aplica al fuego, la solución espumosa es aireada a la boquilla, produciendo espuma. Cientos de galones de espuma pueden ser usados en ciertos casos. La Figura 4-1 ilustra el uso de la espuma contraincendios, como puede ser liberada al ambiente, y medios potencialmente afectados.

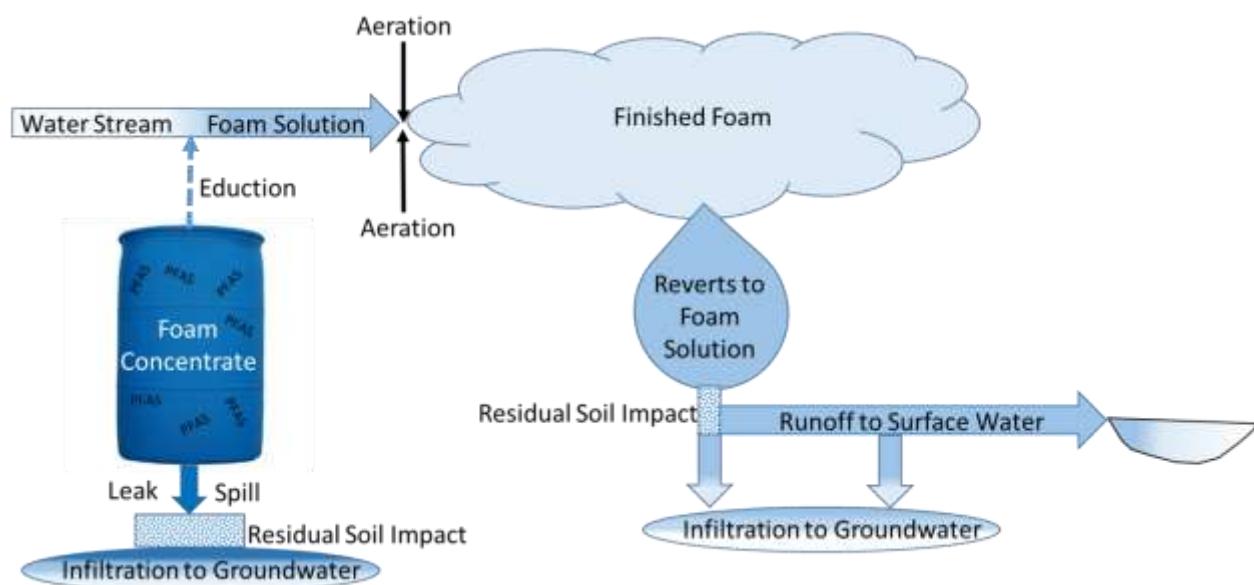


Figura 4-1. Liberación de la espuma contra incendios

(Fuente: J. Hale, Kleinfelder, usado con permiso)

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América (USDOD por sus siglas en inglés) ha llevado a cabo una evaluación de la contaminación potencial por espuma contraincendios en sus instalaciones a nivel nacional (Anderson et al. 2016). Esfuerzos similares han sido emprendidos por algunos estados. Por ejemplo, la Agencia de Control de Contaminación de

Minnesota (MPCA por sus siglas en inglés) condujo una encuesta estatal del uso de espumas contraincendios en zonas de entrenamiento. Trabajando con la Asociación Estatal de Jefe de Bomberos, la MPCA identificó más de dos docenas de lugares donde espumas de Clase B probablemente fueron usadas en entrenamientos contraincendios. (Antea Group 2011).

4.3 Disposición de Residuos

La disposición de residuos generados durante la producción primaria de PFAS y la fabricación secundaria usando PFAS pueden ser fuentes de contaminación ambiental por PFAS. Como los procesos de fabricación de PFAS cambian con el tiempo, el tipo de las corrientes de residuos y la composición de estas también cambian. Dado que la producción de las PFAS comenzó varios años antes de la promulgación de regulaciones estatales y federales para la disposición de residuos (por ejemplo, la Ley de Recuperación y Conservación de Recursos [RCRA por sus siglas en inglés] en 1976 (USEPA 2017d)), impactos ambientales, incluyendo reservas de agua potable contaminada, de disposición de desechos industriales de PFAS han sido documentados (Shin et al. 2011, MPCA 2017).

Lixiviados de algunos vertederos municipales de residuos sólidos han mostrado ser una fuente emisora de PFAS al ambiente, con la presencia de algunas PFAS según se informa es debido a la disposición de bienes tratados con recubrimientos hidrofóbicos y resistentes a las manchas (Busch et al. 2010; Eggen, Moeder, y Arukwe 2010). La composición y concentración de PFAS en lixiviados varían dependiendo en la edad del desperdicio, clima, y la composición de los residuos (Allred et al. 2015; Lang 2017).

La evolución de reducción de residuos y tecnologías en los vertederos ha proporcionado protección significativa a la salud humana y al medio ambiente (Hickman 1999). Los sistemas de recolección de lixiviados son esenciales para proveer transporte sistemático del lixiviado al lugar central para la recirculación, tratamiento, o tratamiento fuera del sitio (Arabi and Lugowski 2015). El tratamiento de lixiviados por plantas tratadoras de aguas residuales (WWTPs por sus siglas en inglés) es común antes de su descarga a aguas superficiales, o de distribución para uso agropecuario o comercial (Lang 2016). Las tecnologías estándar de las WWTPs ayudan poco para reducir o remover PFAS y lixiviado de vertederos tratados en WWTPs representan una fuente secundaria de algunos PFAS liberados al medio ambiente (Ahrens et al. 2015; CRC Care 2017).

4.4 Tratamiento de Aguas Residuales

El uso comercial y doméstico de materiales que contienen PFAS, incluyendo disposición de lixiviado de vertederos y espumas contraincendios, terminan en la descarga de PFAS en WWTPs. Las WWTPs, particularmente aquellas que reciben aguas residuales industriales, son posibles fuentes emisoras de PFAS (Lin, Panchangam, and Lo 2009; Ahrens et al. 2009).

4.4.1 Operaciones de las WWTPs

Los métodos convencionales para el tratamiento de aguas residuales no remueven eficazmente las PFAS (Ahrens et al. 2011; Sun et al. 2011). La evaluación de las WWTPs a gran escala ha indicado que los procesos de tratamiento convencionales tanto primarios (sedimentación y clarificación) como secundarios (biodegradación aeróbica de materia orgánica), pueden resultar en cambios en las concentraciones y clases de las PFAS (por ejemplo, un incremento en la concentración de los PFAAs en el efluente, presuntamente de la degradación de PFAS anteriores) (Schultz et al. 2006).

Algunas PFAS son frecuentemente detectadas en efluentes de WWTPs (por ejemplo PFOA y PFBS), con concentraciones de algunas PFAS de hasta cientos de ng/L; se cree que los efluentes son grandes fuentes de estos químicos en el agua superficial (Ahrens 2011). Hu et al. (2016) demostró que la presencia de WWTPs en un área era predecible de la presencia de PFOS y PFOA en agua potable. El PFOS y el PFOA son dos de las PFAS frecuentemente más detectadas en aguas residuales (Hamid y Li 2016). Usar aguas superficiales impactadas por efluentes de WWTP como fuente para agua potable puede lograr, eventualmente, reciclar las PFAS de vuelta a las WWTP, recirculando las PFAS en el ciclo del agua (Hamid and Li 2016).

En algunas WWTPs, estudios han mostrado concentraciones de PFAS en el aire 1.5 a 15 veces más altas que los sitios de referencia (Ahrens et al. 2011). La distribución de las PFAS (PFAAs y FTOH, con mayores concentraciones de FTOH) cambia con base a las diferentes fuentes de PFAS en el efluente y en el tipo de métodos de tratamiento empleados en las WWTP. Los sistemas de lagunas contienen una gran fracción de PFAAs.

4.4.2 Biosólidos

PFAS (medido como PFCAs y PFSAs) han sido encontradas en lodo de alcantarillado doméstico (Higgins et al. 2005). La USEPA afirma que más de la mitad del lodo producido en los Estados Unidos es usado para tierras de cultivo como biosólidos, por lo tanto, el uso de biosólidos puede ser una fuente de PFAS para el ambiente (USEPA 2017g). Las PFAS más abundantes encontradas en biosólidos (PFOS y PFOA) son las mismas que en los efluentes de las WWTP; sin embargo, los biosólidos pueden llegar a contener otras PFAS de cadena larga (Hamid and Li 2016). El uso de biosólidos como una enmienda del suelo puede resultar en una transferencia de PFAS al suelo (Sepulvado et al. 2011). Estas PFAS pueden ser disponibles para la absorción de plantas y organismos en el suelo. Hay indicaciones de que los PFAAs pueden entrar a la cadena alimenticia a través del uso de suelos con biosólidos (Lindstrom et al. 2011; Blaine et al. 2013; Blaine et al. 2014; Navarro et al. 2017). Más estudios muestran que concentraciones de PFAS pueden ser elevadas en aguas profundas y superficiales cerca de campos de cultivos que han recibido PFAS de biosólidos contaminados por un largo periodo de tiempo (Washington et al. 2010).

5 OTRAS FUENTES DE PFAS EN USOS COMERCIALES Y DEL CONSUMIDOR

Las PFAS son ampliamente usadas en productos de consumo y aplicaciones domésticas, con una mezcla diversa de PFAS encontrados a diario en varias concentraciones (Clara et al. 2008; Trier, Granby, and Christensen 2011; Fujii, Harada, and Koizumi 2013; OECD 2013; ATSDR 2015; Kotthoff et al. 2015; KEMI 2015; USEPA 2016d).

Emisiones ambientales asociadas con el uso de productos domésticos y comerciales son primeramente relacionados con la gestión de desperdicios sólidos (por ejemplo, descarga de plantas tratadoras de agua, sistemas sépticos privados, u otro sistema de desecho superficial).

A medida que aumenta el muestreo ambiental para las PFAS, es común que más fuentes puedan emerger. Estudios han mostrados que la degradación física de algunos productos (como papel tratado con PFAS, textiles, y tapetes) puedan ser fuentes de PFAS en polvo de la casa (Bjorklund, Thuresson, and de Wit 2009). Adicionalmente, estudios También han mostrado que técnicos profesionales que utilizan cera para esquí pueden tener exposiciones significativas debido a la inhalación de PFAS (Nilsson et al. 2013) y nieve derretida y superficies de agua cercanas a áreas de esquí pueden llegar a tener niveles perceptibles de PFAS (Kwok et al. 2013).

6 REFERENCIAS Y ACRÓNIMOS

Las referencias citadas en esta ficha técnica, y otras fichas técnicas sobre PFAS del ITRC, están incluidas en una lista combinada que está disponible en la página web del ITRC. La lista de acrónimos combinados también está disponible en la página web del ITRC.

Productos comerciales y de consumo que Contienen PFAS:

- papel y empaques
- ropa y tapetes
- textiles de exteriores y equipamiento deportivo
- ceras para tablas de esquí
- utensilios de cocina antiadherente
- productos de limpieza y suavizantes
- ceras pulidoras y pinturas de látex
- pesticidas y herbicidas
- fluidos hidráulicos
- limpia parabrisas
- pinturas, barnices, tintes, y tintas
- adhesivos
- productos médicos
- productos de higiene personal (por ejemplo, champú, acondicionadores, protector solar, cosméticos, pasta dental, hilo dental)