

## 1 Introducción

Esta ficha proporciona un resumen de la caracterización de PFAS en sitios y la presencia de las PFAS en medios ambientales específicos. Se puede encontrar más información en el documento de orientación.

La intención de esta ficha no es presentar los principios generales de caracterización del sitio, sino recalcar consideraciones para esta familia de contaminantes emergentes. Los principios generales de la caracterización del sitio de las PFAS son similares a cualquier contaminante, en el sentido de que el medio (suelo, agua, aire), los detalles de las emisiones, la proximidad a los receptores, así como las características del destino y transporte ambiental determinarán la localización de muestras y requisitos. Se deben considerar muchos aspectos en un sitio contaminado con PFAS; la toxicidad, la persistencia, la movilidad, la ubicuidad, el gran número de compuestos en esta familia de químicos, la variabilidad y la incertidumbre de compuestos específicos y los criterios para su regulación, así como la naturaleza de las PFAS como contaminantes emergentes. El enfoque regulatorio y de investigación se ha centrado en fuentes subterráneas de agua potable y las conexiones entre las aguas subterráneas y superficiales. La sección 10 del documento de orientación se concentra en la caracterización de las plumas de agua subterránea.

La presencia de las PFAS en medios ambientales específicos en el medio ambiente es una área de investigación activa. El material presentado en esta ficha y en la sección 6 del documento de orientación no es el resultado de una revisión exhaustiva de la literatura, pero se incluye para proporcionar una comprensión general de las concentraciones de las PFAS. Debido a que los métodos analíticos aún se están optimizando y estandarizando, es difícil comparar los resultados entre estudios y los datos reportados no todos inspiran la misma confianza. Los tipos de medios considerados en una investigación del sitio incluyen el aire, el suelo y sedimento, el agua subterránea, el agua superficial, y la flora y fauna.

## 2 Problemas de caracterización de sitio pertinente a las PFAS

### Ciencia y regulaciones en desarrollo

El estado de la ciencia y el entorno regulatorio está cambiando rápidamente. Muchos aspectos de las PFAS, como la toxicología y su comportamiento en el medio ambiente, las metodologías analíticas y de muestreo, y el entorno normativo, incluyendo los límites y los compuestos de interés, deben ser reevaluados durante el curso de la caracterización de un sitio de PFAS. La sección 11 del documento de orientación cubre el muestreo y el análisis para las PFAS y la sección 8 incluye información sobre las regulaciones.

### Propiedades de fuentes emisoras, destino y transporte ambiental y otras consideraciones

*Fuentes emisoras:* En la sección 2.6 del documento de orientación se incluye una descripción general de las fuentes emisoras de PFAS. Además de las fuentes emisoras primarias que incluyen descargas industriales y emisiones de AFFF, también hay “fuentes emisoras secundarias,” como fuentes emisoras creadas a través del movimiento de medios contaminados a un área que previamente no estaba contaminada, o un área donde los procesos físicos o químicos hayan concentrado PFAS (por ejemplo, interfaces de medios ambientales).

*Perspectiva histórica:* Es posible que las investigaciones desarrolladas anteriormente no hayan evaluado la contaminación por las PFAS porque estas sustancias no estaban reguladas, no eran un contaminante de preocupación durante la investigación original o porque los métodos analíticos no estaban disponibles en ese momento. Las plumas de PFAS pueden ser extensas después de tener años para desarrollarse antes de ser descubiertas o tratadas.

ITRC ha desarrollado una serie de fichas técnicas que resumen la ciencia reciente y tecnologías emergentes sobre PFAS. La información en esta y otras fichas sobre PFAS se describe en más detalle en el Documento de orientación técnica y regulatoria de ITRC (**Documento de Orientación** (<https://pfas-1.itrcweb.org/>)).

El propósito de esta ficha técnica es de resumir:

- Consideraciones sobre caracterización de sitios con emisiones de PFAS.
- Información breve sobre presencia de PFAS en medios ambientales.

## Consideraciones de caracterización del sitio y presencia de las PFAS en medios ambientales específicos *continuación*

---

*Vías ambientales:* Las PFAS pueden estar presentes o pueden migrar a través de vías que no se encuentran a menudo con otros compuestos. Por ejemplo, las PFAS pueden estar presentes en el agua subterránea de un sitio a través de la deposición en el aire aunque no haya emisiones directas en el sitio.

*Transiciones complejas entre medios:* El comportamiento de las PFAS en el medio ambiente puede ser diferente al comportamiento de otros contaminantes típicos. Las transiciones entre los medios pueden ser complejas debido a las características de estos compuestos.

*Partición:* Las PFAS se adhieren a los suelos y los sedimentos, con una afinidad que puede estar correlacionada con la cantidad de carbono orgánico presente. Sin embargo, la adsorción de las PFAS al carbono orgánico no es tan fuerte como la de los compuestos hidrofóbicos (por ejemplo, bifenilos policlorados-PCB, hidrocarburos poliaromáticos-PAH). Entonces el coeficiente de adsorción de carbono orgánico (K<sub>oc</sub> por sus siglas en inglés) puede ser un mal indicador de la adsorción de las PFAS al carbono orgánico. Los valores publicados de K<sub>oc</sub> para las PFAS cubren un rango amplio ya que varios factores pueden afectar la sorción de las PFAS al carbono orgánico,

*Evaluación de prioridades:* Debido a que el agua potable es una vía importante de exposición para las PFAS y puede ser que las plumas de PFAS establecidas se propagaron en áreas pendiente abajo, se podría dar prioridad a la gestión de las vías de exposición en el agua potable en lugar de la caracterización del sitio.

*Construcción del punto de monitoreo:* Los investigadores deben tomar en cuenta las formas en que la construcción del punto de monitoreo puede influir los resultados de muestreo, por ejemplo pozos históricos con cinta de fluoropolímero.

*Uso generalizado:* Debido a que el uso de los productos que contienen PFAS es extenso, puede ser que haya varias fuentes emisoras de PFAS adicionales o alternativas en un sitio. Adicionalmente, a menudo en muestras de lugares sin una fuente emisora obvia las PFAS se detectan en niveles bajos; puede ser necesario evaluar el nivel base antropogénico del sitio para determinar las contribuciones de PFAS en aguas subterráneas o suelos que no se deben a emisiones en el sitio. Para un ejemplo, consulte Strynar et al. (2012).

*Conjunto de compuestos químicos a evaluar:* La selección del conjunto de compuestos puede ser útil para aplicaciones como estudios forenses para atribución de contaminación por PFAS (si se sospechan varias fuentes emisoras) o para comprender los efectos potenciales de la degradación de PFAS precursores. Tenga en cuenta que actualmente métodos analíticos disponibles, incluso un conjunto amplio de compuestos no detectará todos las PFAS.

*Heterogeneidad geológica:* Se debe poner énfasis en comprender los efectos de la heterogeneidad hidrogeológica en las plumas de las aguas subterráneas ya que los límites regulatorios utilizados para delinear los impactos de las aguas subterráneas son bajos y algunas PFAS tienen una naturaleza móvil.

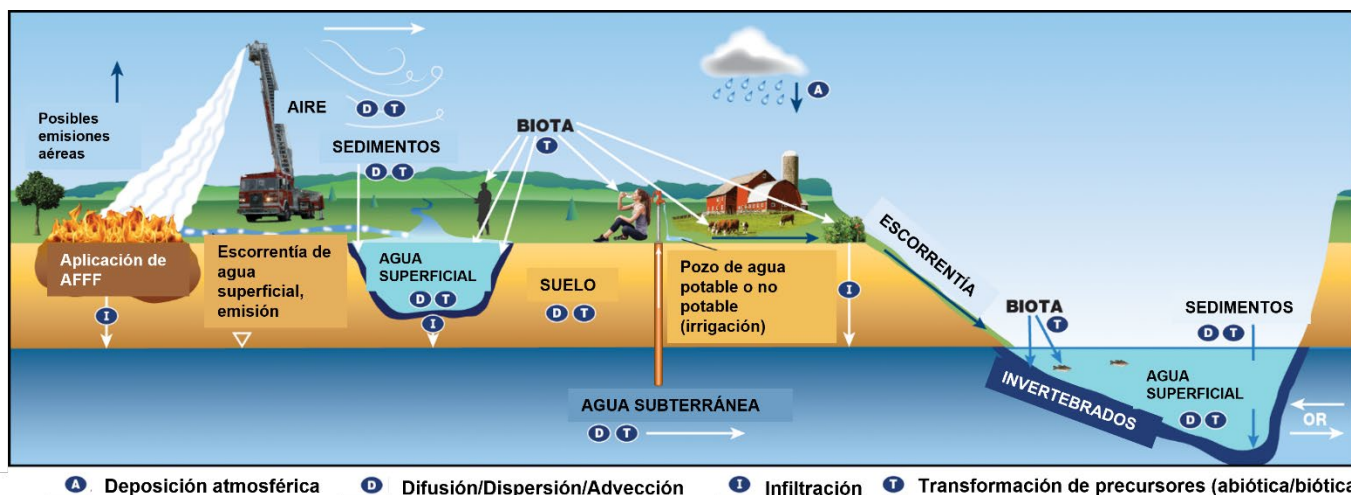
### **Modelo conceptual inicial del sitio (CSM por sus siglas en inglés)**

Los CSM son herramientas útiles para la presentación y evaluación de las características del sitio, las emisiones, el destino ambiental y el transporte de los contaminantes, y las vías de exposición y pueden ayudar a enfocar la investigación del sitio. Un ejemplo de CSM industrial generalizado se presenta en la figura 1.

El CSM ilustra las áreas de origen, los mecanismos de transporte, y las rutas de las PFAS más conocidas y potenciales en un medio ambiental de formato simplificado. El CSM también ilustra las vías de exposición y los receptores. El desarrollo de CSM es un proceso iterativo sobre la duración del proyecto que incorporará la información obtenida durante la investigación del sitio, el diseño del remedio, y la implementación y optimización del remedio.

Algunos desafíos relacionados con la identificación de la naturaleza y el alcance de los impactos de las PFAS para el desarrollo de CSM para sitios contaminados por las PFAS son casos de aguas superficiales que crean plumas de emisiones muy grandes en las aguas subterráneas a través de la recarga (ATSDR 2008) e identificación de posibles receptores ecológicos y humanos en el contexto de evaluaciones de riesgo para las PFAS.

## Consideraciones de caracterización del sitio y presencia de las PFAS en medios ambientales específicos *continuación*



**Figura 1. CSM para áreas de entrenamiento contraincendios**

Fuente: Adaptado de una figura de L. Trozzolo, TRC. Imagen reproducida con permiso

### La investigación de sitios

#### Desarrollo de plan de trabajo para investigar un sitio

Los planes de trabajo para investigar un sitio deben tomar en cuenta el CSM inicial y la evaluación preliminar del sitio y deben incorporar información y conceptos aplicables del documento de orientación. Algunos de estos elementos son los procedimientos de muestreo y el equipo para prevenir la contaminación cruzada, los métodos analíticos y compuestos que se reportarán, los requisitos y criterios regulatorios que seguidamente cambian y varían geográficamente, y el medio ambiental del sitio.

Adicionalmente, la evaluación del marco geológico e hidrogeológico asociado con el sitio es fundamental, y a veces el marco debe abordarse regionalmente, ya que los efectos de las PFAS pueden extenderse a largas distancias del sitio.

Se deben considerar los procedimientos de investigación para caracterizar los suelos contaminados y para determinar el alcance tridimensional de la contaminación del suelo y las aguas subterráneas. Los procedimientos de caracterización de sitios de alta resolución más allá de los que proporcionan información hidrológica o litológica y son específicos a las PFAS son limitados debido a su falta de disponibilidad sin inconvenientes. Sin embargo, cada vez son más comunes los procedimientos analíticos que se pueden utilizar en un laboratorio móvil y que pueden detectar PFAS desde un nivel de nanogramos por litro de solución (ng/L). Otras metodologías de detección en campo han sido probadas o están en la fase de investigación y desarrollo (Deeb 2016).

En el desarrollo de un plan de trabajo se deben considerar los factores claves relacionados con las fuentes secundarias incluyendo: la lixiviación de la zona vadosa a la zona saturada; la retrodifusión la desorción; la disolución de fase líquida no acuosa (NAPL por sus siglas en inglés); las fuentes no ubicadas en el sitio; la deposición atmosférica; la escorrentía superficial; la filtración de aguas subterráneas en aguas superficiales o la filtración de aguas superficiales en aguas subterráneas; las características del subsuelo, incluyendo las tuberías de servicios públicos; las mezclas multicomponentes; y las PFAS precursoras que pueden estar presentes.

Como sucede con otros compuestos, una investigación de PFAS en un sitio se basa en comprender el alcance de las fuentes de PFAS y también el alcance del transporte de contaminantes. En algunos sitios, se ha observado que las plumas de PFAS más móviles y de cadena corta son más extensas que las PFAS de cadena larga debido a un menor retardo en las aguas subterráneas. El comportamiento de partición en medios de las PFAS se analiza en la sección 5.2 del documento de orientación. También se tiene que considerar la mezcla de los contaminantes puede afectar el alcance de las PFAS.

## Consideraciones de caracterización del sitio y presencia de las PFAS en medios ambientales específicos *continuación*

---

### *Análisis e interpretación de datos*

Hay varios métodos y herramientas disponibles para caracterizar sitios contaminados diversos. Se incluyen en el documento de orientación varios ejemplos de estrategias de análisis e interpretación que pueden ser importantes para los sitios contaminados con PFAS. Se consideran los coeficientes de retardo y el tiempo de recorrido, flujo de masa/descarga de masa, las contribuciones de diferentes fuentes, la deposición atmosférica, la percolación de zona vadosa, el retrodifusión, las contribuciones río arriba del sitio, las vías y velocidad de transformación, la estabilidad de la pluma de PFAS, el modelo del destino ambiental y transporte de las PFAS, así como los métodos de visualización.

### *Identificación de la fuente*

La identificación de la fuente es uno de los desafíos de las investigaciones de la contaminación de PFAS. Donde no hay emisiones documentadas, puede ser necesario usar varios tipos de evidencia para identificar la fuente de las PFAS. La identificación de la fuente busca utilizar la evaluación de ambos análisis químicos típicos y avanzados para distinguir entre las fuentes de contaminantes y la edad y fecha de los eventos de emisión. Se siguen desarrollando procedimientos avanzados. Estos procedimientos pueden incluir: estudios forenses para atribución de contaminación por PFAS - dependiendo del compuesto químico y sus isótopos; modelos del transporte de los contaminantes; proporciones de compuestos diagnósticos de fuentes de PFAS; datación por radioisótopos; y análisis microscópico. Cada procedimiento tiene sus incertidumbres y se debe llevar a cabo un análisis de las habilidades de cada procedimiento y su aplicabilidad en un sitio específico.

## 3 La presencia de las PFAS en medios ambientales específicos

La presencia de las PFAS en varios medios ambientales es un área de investigación activa. La información presentada aquí no es el resultado de una revisión exhaustiva de la literatura, pero se incluye para proporcionar una comprensión relativa de las concentraciones de las PFAS típicamente encontradas en medios ambientales. Los tipos de medios ambientales presentados aquí incluyen el aire, el suelo y sedimento, el agua subterránea y la superficie del agua. La sección 6 del documento de orientación incluye figuras que resumen las concentraciones observadas de PFAS que han reportado en la literatura. La sección 17.1 incluye tablas que resumen los detalles importantes sobre cada estudio utilizado en el desarrollo de las figuras.

### **El Aire**

Ciertas PFAS se encuentran en el aire ambiental y las concentraciones elevadas se observan en áreas urbanas más cercanas a las fuentes de emisión como instalaciones de fabricación, plantas de tratamiento de aguas residuales, instalaciones de entrenamiento contra incendios y vertederos (Barton et al. 2006; Ahrens et al. 2011; Liu et al. 2015). Aunque el aire del exterior contaminado por PFAS puede entrar a los edificios, la presencia de fuentes dentro de los edificios puede hacer que las concentraciones de ciertas PFAS sean más altas que las concentraciones en el aire del exterior (Fromme et al. 2015; Shoei et al. 2011).

### **El Suelo y el sedimento**

Debido a la deposición atmosférica, la exposición a medios ambientales contaminados (por ejemplo, lixiviados de vertederos o biosólidos), y la descarga directa, las PFAS se encuentran en el suelo y los sedimentos. La distribución de las PFAS en el suelo es compleja y refleja varios factores específicos al sitio, como el carbono orgánico total (TOC por sus siglas en inglés), las cargas superficiales de partículas, e interfaces de medios. Las propiedades de las PFAS individuales como la longitud de la cadena alquilo y el grupo funcional iónico son factores importantes. La PFOS, la PFOA, y otras PFCA de cadena larga suelen ser las PFAS identificadas predominantemente en los suelos superficiales y los sedimentos (Zhu et al. 2019; Rankin et al. 2016; Strynar et al. 2012).

### **El agua subterránea**

La agencia de protección ambiental de Estados Unidos (US EPA por sus siglas en inglés) ha montado un conjunto de datos sobre la ocurrencia de seis PFAA en el agua potable pública a través del monitoreo de los sistemas de agua potable bajo el programa tercera regla de monitoreo de los contaminantes no regulados

## Consideraciones de caracterización del sitio y presencia de las PFAS en medios ambientales específicos *continuación*

(UCMR3 por sus siglas en inglés) (US EPA 2017o). En 4% de los sistemas públicos de agua que reportan sus niveles de contaminación se detectó una o más PFAA en el agua (US EPA 2017b). Las fuentes de aguas subterráneas tenían aproximadamente el doble de la tasa de detección de las fuentes en las aguas superficiales (Hu et al. 2016). Los datos de contaminación en el agua subterránea recopilados como parte de estudios domésticos e internacionales también han caracterizado el rango de concentraciones de las PFAS asociadas con los sitios de emisiones.

### La superficie del agua

Las concentraciones de PFAS en el agua dulce, aguas marinas, y el agua pluvial depende generalmente en la proximidad a la fuente emisora y la concentración de las fuentes. Además de las emisiones asociadas con las fuentes identificadas, la escorrentía de aguas pluviales de fuentes difusas puede aportar la concentración de PFAS en las aguas superficiales (Wilkinson et al. 2017; Zushi and Masunaga 2009). La sorción de PFAS a los sólidos en suspensión puede afectar las concentraciones de PFAS en las aguas superficiales. Los microplásticos en suspensión también pueden influir las PFAS en aguas superficiales (Llorca et al. 2018). Además de PFOS y PFOA, muchas otras PFAS se han observado en las aguas superficiales, incluyendo compuestos distintos a las PFAA.

### Biota (Flora y fauna)

Debido a que las PFAS están extendidas y tienden a bioacumular, a menudo se han encontrado en los peces, los animales, y los humanos. Las PFAA, en particular la PFOS, son las PFAS que se detectan con más frecuencia en la biota (Houde et al. 2011). La absorción y la eliminación de ambas PFAA y sus precursoras y la tasa de biotransformación de las PFAS precursoras influyen las concentraciones de la PFAA en la biota (Asher et al. 2012; Gebbink, Bignert, and Berger 2016). Por lo tanto, las concentraciones de las PFAA observadas en la biota en un lugar no necesariamente reflejan las concentraciones de PFAS en otros medios ambientales.

## 6 Referencias y acrónimos

Las referencias citadas en esta ficha y otras referencias se pueden encontrar en <https://pfas-1.itrcweb.org/references/> (en inglés). Los acrónimos usados en esta ficha y en el documento de orientación se pueden encontrar en <https://pfas-1.itrcweb.org/acronyms/> (en inglés).

Traducción a español:

Ivy Torres, MA ([irtorres@uci.edu](mailto:irtorres@uci.edu)) Program in Public Health, University of California, Irvine (UCI)

y Christopher Olivares, PhD ([chris.olivares@uci.edu](mailto:chris.olivares@uci.edu)) Civil & Environmental Engineering, UCI



### Contactos del equipo de sustancias per- y polifluoroalquiladas (PFAS)

**Robert Mueller** • New Jersey Department of Environmental Protection  
609-940-4018 • [Bob.Mueller@dep.nj.gov](mailto:Bob.Mueller@dep.nj.gov)

**Kate Emma Schlosser** • New Hampshire Department of Environmental Services  
603-271-2910 • [KateEmma.Schlosser@des.nh.gov](mailto:KateEmma.Schlosser@des.nh.gov)

August 2020



**ITRC**  
1250 H St. NW, Suite 850  
Washington, DC 20005  
[itrcweb.org](http://itrcweb.org)

