

## 1 Introducción

Esta ficha aborda las convenciones de nomenclatura de algunas de las PFAS más reportadas tomando en cuenta el uso histórico, el estado de la investigación científica relacionada con la ocurrencia ambiental, y los análisis comerciales disponibles. Para convenciones de nomenclatura relacionadas con las PFAS consulte Buck et al. (2011).

La familia PFAS se puede dividir en dos clases principales: polímero y no polímero como se muestra en la Figura 1. Se esperan actualizaciones a la familia de las PFAS (family tree) y la nomenclatura en el futuro dado a la evolución del conocimiento público de estos compuestos.

Esta ficha se enfoca principalmente en las PFAS no poliméricas (nonpolymer) detectadas más comúnmente en el ambiente. Información adicional está disponible en el documento de orientación.

## 2 PFAS no poliméricas

La familia PFAS no poliméricas incluye dos clases principales: las sustancias perfluoroalquiladas y las polifluoroalquiladas; ambas incluyen muchos subgrupos de compuestos químicos, algunos de los cuales se muestran en la Figura 1. Estos compuestos químicos fueron seleccionados para el enfoque principal del documento de orientación porque 1) son los detectados más comúnmente en humanos, biota, y otros medios; 2) parecen ser relativamente más abundantes en sitios de investigación de las PFAS; 3) pueden tener datos disponibles sobre los posibles efectos ecológicos y a la salud humana de la exposición ambiental; 4) pueden tener valores de orientación estatal o federal; y/o 5) son incluidos más frecuentemente en las listas de análisis de PFAS en el laboratorio.

ITRC has developed a series of fact sheets that summarize recent science and emerging technologies regarding PFAS. The information in this and other PFAS fact sheets is more fully described in the *ITRC PFAS Technical and Regulatory Guidance Document (Guidance Document)* (<https://pfas-1.itrcweb.org/>).

This fact sheet describes methods for classifying PFAS that may be found in the environment, including:

- Polymer and Nonpolymer PFAS
- Perfluoroalkyl acids
- Long- and Short-Chain PFAS
- Polyfluoroalkyl substances
- Linear vs. Branched PFAS
- Acids vs. Anions
- Replacement PFAS Chemistry

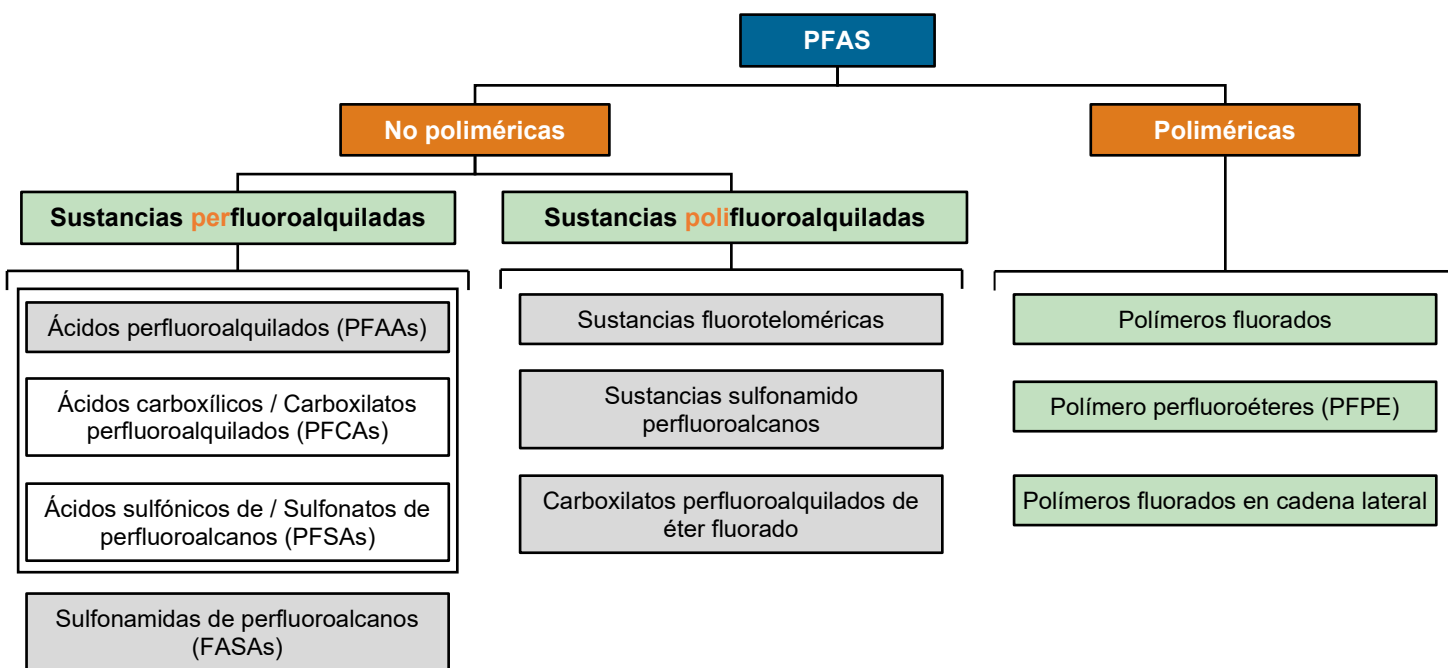
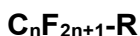


Figura 1. Resumen de la familia PFAS.

### Substancias perfluoroalquiladas

Las sustancias perfluoroalquiladas son moléculas alquiladas (cadenas de carbono) completamente fluoradas (perfluoro-). Su estructura básica es una cadena (o unión) de dos o más átomos de carbono con un grupo funcional cargado (o cabeza) en un extremo. Frecuentemente los grupos funcionales son carboxilatos o ácidos sulfónicos, sin embargo, hay otras formas que también se detectan en el ambiente. Esta estructura, es la que se muestra en la Figura 2 para el sulfonato perfluorooctano (PFOS, por sus siglas en inglés) y el perfluorooctanoato (PFOA, por sus siglas en inglés), que puede ser escrito como::



donde “ $C_nF_{2n+1}$ ” define la longitud de la cadena del perfluoroalquil, “n” es  $>2$  y “R” representa la cabeza del grupo funcional atraído. El grupo funcional puede contener 1 o más átomos de carbono, que son incluidos en el número total de carbono cuando el compuesto químico es nombrado.

### Ácidos perfluoroalquilados (PFAAs)

Los ácidos perfluoroalquilados (PFAA, por sus siglas en inglés) son algunas de las moléculas más básicas de las PFAS y actualmente son la clase de PFAS más estudiadas en el medio ambiente. La degradación biótica y abiótica de las sustancias polifluoroalquiladas puede resultar en la formación de PFAAs. Como resultado, se hace referencia a las PFAAs como “PFAS terminales” o “productos de degradación terminal”, lo que significa que no se formarán más productos de degradación bajo condiciones ambientales. Las PFAS que se degradan para crear PFAAs terminales son nombradas como “precursoras.” Las PFAA se dividen en dos subgrupos principales: *Perfluoroalkyl carboxylic acids* (PFCAs), or perfluoroalkyl carboxylates, are terminal degradation products of select precursor polyfluoroalkyl substances, such as fluorotelomer alcohols (FTOHs). An example PFCA is PFOA.

- *Ácidos carboxílicos perfluoroalquilados* (PFCA, por sus siglas en inglés), o carboxilatos perfluoroalquilados, son productos de degradación terminal de precursores de PFAS específicos, como los alcoholes fluoroteloméricos (FTOH, por sus siglas en inglés). Un ejemplo de PFCA es PFOA.
- *Ácidos sulfónicos de perfluoroalcanos* (PFSA, por sus siglas en inglés), o sulfonatos de perfluoroalcanos, son también productos de degradación terminal de ciertas sustancias precursoras polifluoroalquiladas como los perfluoroalquilsulfonamido-etanoles (FASE, por sus siglas en inglés). Un ejemplo de PFSA es PFOS.

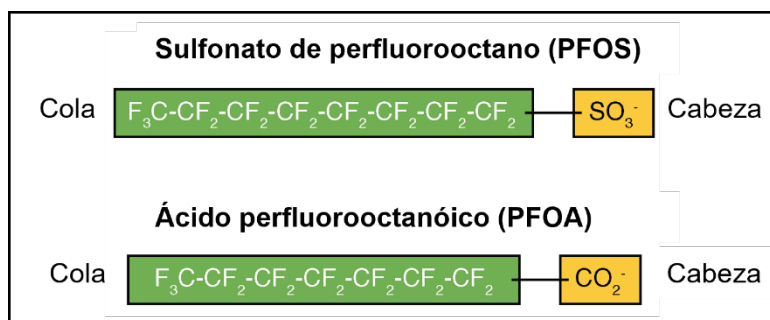


Figure 2. La cabeza y cola estructural de PFOS y PFOA

Muchas de las PFAS comúnmente detectadas se denotan usando la abreviación estructural:

**PFXY**

donde:

PF = perfluoro

X = la longitud de la cadena de carbono, usando la misma nomenclatura que los hidrocarburos basada en el número de carbonos (*por ejemplo, B para butano de 4 carbonos, Pe para pentanos de 5 carbonos*)

Y = el grupo funcional

A = Carboxilato o ácido carboxílico y

S = Sulfonato o ácido sulfónico

Las PFAA son la clase de PFAS que constituyen la mayoría de las PFAS normalmente incluidas en las listas de análisis de enfoque de laboratorios comerciales y son las PFAS por las cuales se han establecido valores orientativos federales y estatales basados en la salud. Como resultado, las PFAA tienden a dirigir las decisiones en los sitios de investigación y remediación, entonces es útil comprender las convenciones de nomenclatura para esta clase de PFAS.

La Tabla 1 ilustra cómo funciona esta nomenclatura para ciertas PFCA y PFSA, que se refieren colectivamente como PFAA. La tabla completa se incluye en el documento de orientación.

## Convenciones de nomenclatura de PFAS *continuación*

**Tabla 1. Estructura básica de la nomenclatura y abreviatura para ciertas PFAAs**

X	Y	Acronym	Name	Formula	No. CAS
B = buta (4 carbonos)	A = Ácido carboxílico/ carboxilato	PFBA	Perfluorobutanoato	$C_3F_7CO_2^-$	45048-62-2
			Ácido perfluorobutanoico	$C_3F_7COOH$	375-22-4
	S = Ácido sulfónico/ sulfonato	PFBS	Sulfonato de perfluorobutano	$C_4F_9SO_3^-$	45187-15-3
			Ácido sulfónico de perfluorobutano	$C_4F_9SO_3H$	375-73-5
O = octa (8 carbonos)	A = Ácido carboxílico/ Carboxilato	PFOA	Perfluorooctanoato	$C_7F_{15}CO_2^-$	45285-51-6
			Ácido perfluorooctanoico	$C_7F_{15}COOH$	335-67-1
	S = Ácido sulfónico/ sulfonato	PFOS	Sulfonato de perfluorooctano	$C_8F_{17}SO_3^-$	45298-90-6
			Ácido sulfónico de perfluorooctano	$C_8F_{17}SO_3H$	1763-23-1

### Distinción entre cadena larga y cadena corta

Algunas veces las PFAA se describen como de cadena larga y cadena corta como una forma abreviada de agrupar PFCA y PFSA que pueden comportarse de manera similar en el medio ambiente. La Tabla 2 ilustra las diferencias entre las PFCA y PFSA de cadena corta y cadena larga.

**Tabla 2. PFCAs y PFSAs de cadena corta y cadena larga**

No. de carbonos	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PFCAs	PFCA de cadena corta				PFCA de cadena larga				
	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA	PFDoA
PFSAs	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnS	PFDoS
	PFSA de cadena			PFSA de cadena larga					

### Forma aniónica vs. forma ácida

Como se indicó anteriormente, los nombres de las formas aniónicas o ácidas de PFAS se suelen usar indistintamente. Sin embargo, es importante saber de qué forma se está hablando debido a las diferencias entre sus características físicas-químicas y su comportamiento en el medio ambiente. Algunas cosas importantes a tener en cuenta con respecto a las formas aniónicas vs. ácidas son:

- Muchas de las PFAAs están presentes en el medio ambiente y las matrices humanas en su forma aniónica. Por ejemplo, PFOS está presente en el medio ambiente en la forma aniónica, sulfonato de perfluorooctano.
- Aunque los laboratorios se encuentren reportando PFOA o PFOS usando el nombre de la forma ácida, en realidad están midiendo la forma aniónica (por ejemplo, octanoato o sulfonato), ya que esta es la forma que existe en el medio ambiente.
- La forma ácida y sus sales catiónicas asociadas tienen números CAS, mientras que las formas aniónicas no siempre lo poseen. Por ejemplo, el PFOS puede existir como diferentes sales (catiónicas), incluyendo sodio, litio, potasio, o amonio. Cada una de estas sales tiene un número CAS diferente.
- Cuando la sal o ácido existe en agua u otros líquidos, se disociarán (perderán su hidrógeno) y la sal o el ácido se romperá y formará el anión (por ejemplo, COO-).

### Isómeros lineales y ramificados de las PFAS

Muchas PFAS pueden estar presentes como mezclas de isómeros lineales y ramificados (compuestos químicos con la misma fórmula, pero con diferente estructura molecular) dependiendo del proceso de fabricación utilizado. Estas diferencias estructurales son importantes porque pueden afectar como los compuestos se comportan en el ambiente. La

## Convenciones de nomenclatura de PFAS *continuación*

presencia de isómeros lineales y ramificados pueden ser útiles para comprender las fuentes de PFAS y la edad de la fuente, ya que la producción de isómeros varía según los procesos de fabricación. Por ejemplo, el proceso de fluorotelomerización produce principalmente PFAA lineales, mientras que el proceso de fluoración electroquímica (ECF, por sus siglas en inglés) produce una mezcla de isómeros PFAA lineales y ramificados. La presencia de isómeros lineales y ramificados también puede tener implicaciones para la partición y el transporte ambiental.

### Sustancias polifluoroalquiladas

Las sustancias polifluoroalquiladas y algunos polímeros de cadena lateral fluorada están siendo identificados crecientemente como importantes para la comprensión del transporte y destino ambiental de las PFAS en sitios de emisión y el medio ambiente (OECD, 2013; Butt, Muir, and Mabury 2014; Liu y Mejía-Avendaño 2013; Wang et al. 2011; Mejía-Avendaño et al. 2016). La figura 1 destaca las sustancias polifluoroalquiladas que, hasta la fecha, han sido detectadas de forma frecuente en sitios de PFAS (Barzen-Hanson et al. 2017).

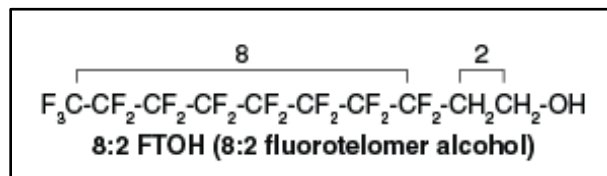
Las sustancias polifluoroalquiladas se distinguen de las sustancias perfluoroalquiladas ya que no están completamente fluoradas. En su lugar, éstas tienen un átomo no fluorado (comúnmente hidrógeno u oxígeno) adherido al menos a uno, pero no todos, de los átomos de carbono. Mientras que los últimos dos, o más, de los carbonos restantes en la cadena están totalmente fluorados. La figura 3 muestra un ejemplo de una sustancia polifluoroalquilada donde dos de los carbonos en la cola no están completamente fluorados, mientras que los carbonos restantes sí lo están. Esto también ilustra la convención de nomenclatura “n:x” donde “n” indica el número de los átomos de carbono totalmente fluorados (en este caso, 8) y “x” indica el número de átomos de carbono que no están fluorados totalmente (en este caso, 2).

El enlace hidrógeno-carbono (o algún otro sin flúor) en las moléculas polifluoroalquiladas crea un punto “débil” en la cadena de carbonos que es susceptible a la degradación biótica o abiótica. Como resultado, muchas sustancias polifluoroalquiladas que contienen un grupo perfluoroalquilo CF son compuestos químicos precursores que tienen el potencial de transformarse en PFAAs.

### Fluorotelomer Substances

Las sustancias fluoroteloméricas son sustancias polifluoroalquiladas producidas por los procesos de telomerización. La degradación de sustancias basadas en el fluorotelómero es una fuente potencial de PFCA en el ambiente, pero no de PFSA (Buck et al. 2011). Las siguientes sustancias de fluoroteloméricas son, hoy en día, las más detectadas en el ambiente:

- Los alcoholes fluoroteloméricos (FTOH, por sus siglas en inglés): Los alcoholes de fluorotelómero n:2 (n:2 FTOHs) son materias primas claves en la producción de acrilatos de fluorotelómero n:2 y metacrilatos de fluorotelómero n:2 (Buck et al. 2011).
- Los ácidos sulfónicos de fluoroteloméricos (FTSA, por sus siglas en inglés): Los ácidos sulfónicos de fluorotelómero n:2 (n:2 FTSA) han sido detectados a partir de matrices ambientales en sitios donde se ha usado espuma formadora de película acuosa (AFFF, por sus siglas en inglés), de igual manera que en los efluentes de plantas de tratamiento de agua residual y el lixiviado de los vertederos. FTSA son compuestos químicos precursores y pueden someterse a la biotransformación aeróbica de PFCAs (Buck et al. 2011).
- Los Ácidos carboxílicos de fluorotelómeros (FTCA por sus siglas en inglés): Estos son compuestos químicos formados a través de la biodegradación de FTOHs (Buck et al. 2011, Liu y Mejía Avendaño, 2013) y se han detectado en el lixiviado de vertederos.



**Figura 3. Ejemplo de una sustancia polifluoroalquilada**

## 3 PFAS poliméricas

Un polímero es una macromolécula compuesta de muchas subunidades menores repetidas (monómeros). Las sustancias poliméricas en la familia de las PFAS incluyen los fluoropolímeros, Polímeros de perfluoroétere (PFPE), y polímeros fluorados en la cadena lateral. En general, se cree que las sustancias poliméricas presentan menos riesgos inmediatos ecológicos y a la salud humana en relación con algunas PFAS no poliméricas. Como se mencionó anteriormente, muchos de los compuestos químicos de interés en sitios de liberación ambiental son los no poliméricos.

### 4 Química de remplazo

La preocupación sobre la persistencia, bioacumulación y posibles efectos ecológicos y de salud humana de los PFAA de cadena larga ha llevado a los fabricantes a desarrollar químicas de reemplazo de PFAS de cadena corta que no deberían degradarse a PFAA de cadena larga (USEPA, 2006; OCDE, 2017). Las alternativas de cadena corta incluyen productos basados en fluorotelómeros con una cadena de perfluoroalquilo de seis carbonos y productos basados en la ECF con una cadena de perfluoroalquilo de cuatro carbonos. Estos productos pueden degradarse para formar PFAA de cadena corta, como PFHxA y PFBS, respectivamente (Wang et al., 2013; Buck, 2015). Si bien aquí no es posible una discusión completa de tales químicos de reemplazo, es importante estar al tanto de esta tendencia hacia las químicas de cadena más corta, ya que puede que algunos de estos compuestos PFAS comiencen a encontrarse cada vez más en el ambiente. Con la eliminación gradual de ciertas PFAS de cadena larga y sus precursoras por parte de los fabricantes principales (por ejemplo, PFOA y 8:2 FTOH) se han introducido comercialmente PFAS de reemplazo (muchas después una revisión por la USEPA) y pueden seguir desarrollándose. Varios estudios sugieren que algunas PFAS alternativas pueden ser o no pueden ser menos peligrosas que las predecesoras de cadena larga, aunque la información disponible públicamente sobre la mayoría de los productos químicos de reemplazo es limitada (Wang, Cousins, et al. 2015; RIVM 2016; OECD 2015b).

### 5 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



### Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Team Contacts

**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)

