

## Microcontaminantes emergentes: PFOS y PFOA

ALEJANDRO JIMÉNEZ MARTÍN<sup>1</sup>

*Universidad de Salamanca*

*70828540v@usal.es*

### SUMARIO

En el presente artículo se pretende estudiar los microcontaminantes emergentes en aguas superficiales. En este caso nos centraremos en los dos más importantes que son el PFOS (ácido perfluorooctanosulfónico) y el PFOA (ácido perfluorooctanoico). Para abordar el estudio se comenzará estudiando la estructura molecular de estos compuestos. Posteriormente hablaremos de la síntesis, usos y peligros. Finalmente se expondrán diferentes métodos analíticos para la determinación de estos compuestos en diferentes muestras.

*Palabras clave:* Compuestos perfluoroalquilados (PFOSs), ácido perfluorooctanosulfónico (PFOS), ácido perfluorooctanoico (PFOA), exposición, riesgos, toxicología.

### SUMMARY

The objective of this paper is to study emerging micro-pollutants in surface water. In this case, will be analyzed the most important components: PFOS (perfluorooctane sulfonic acid) and PFOA (perfluorooctanoic acid). Starting we speak about molecular structure of this components. Then we explain their synthesis. Finally, the most important analytical methods for different samples will be studied.

*Key words:* Components perfluoro-alkylated (PFOSs), perfluorooctane sulfonic acid (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA), exposure, risk, toxicology.

<sup>1</sup> Alejandro JIMÉNEZ MARTÍN es estudiante de cuarto del Grado en Química en la Universidad de Salamanca.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los compuestos perfluoroalquilados (PFAFs) son moléculas que poseen en su estructura dos partes: una cadena carbonada y un grupo polar. En la cadena carbonada los hidrógenos son sustituidos por átomos de flúor, esta sustitución puede ser total o parcial. De manera general, esta cadena carbonada suele ser muy hidrofóbica y puede tener una longitud muy variada (de 4 a 16 átomos de carbono), siendo las más comunes las cadenas de 8 átomos de carbono **[(C)<sub>8</sub>]**. El grupo polar puede ser un grupo ácido carboxílico, ácido sulfónico, un grupo amino... Esto implica que el producto final puede ser catiónico, aniónico o no iónico.

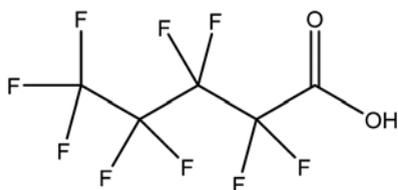


Figura 1: *Ácido perfluoropentanoico*

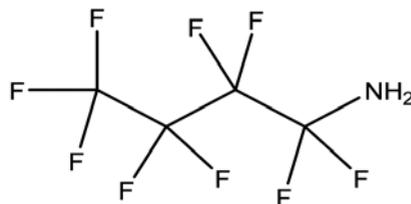


Figura 2: *Perfluorobutano amina*

Esta estructura molecular y los tipos de enlace presentes entre los átomos hacen que estos compuestos sean muy estables, persistentes, difíciles de degradar y muy poco solubles tanto en agua como en disolventes orgánicos. Lo cual hace que estos compuestos sean utilizados como protectores o repelentes de manchas y líquidos.

Bajo el nombre de compuestos perfluoroalquilados se engloba a aquellos compuestos que cumplen con las características descritas arriba. Esto da lugar a un grupo muy numeroso de compuestos. En el presente estudio nos centraremos en dos de los más utilizados y conocidos como PFOS y PFOA.

PFOS: Ácido perfluorooctanosulfónico<sup>2</sup>. Se trata de un compuesto que posee una cadena de 8 átomos de carbono donde todos los hidrógenos de la cadena carbonada han sido sustituidos por átomos de flúor. Sobre uno de los carbonos terminales de la cadena se tiene el grupo sulfónico **(-SO<sub>3</sub>H)**. El protón del grupo sulfónico es ácido (más adelante se indicará su pKa) y por consiguiente se puede formar una

2 J. ALEXANDER, G. A. AUONUNSSON, D. BENFORD, A. COCKBURN, JP. CRAVEDI, E. DOGLIOTTI, A. DI DOMENICO, M.L. FERNÁNDEZ CRUZ, J. FINK-GREMMELS, P. FÜRST, C. GALLI, P. GRANDJEAN, J. GZYL, G. HEINEMEYER, N. JOHANSSON, A. MUTTI, J. SCHLATTER, R. VAN LEEUWEN, C. VAN PETEGHEM, P. VERGER; "Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts"; *The EFSA Journal* 653 (2008) 1-131.

sal del compuesto utilizando una base adecuada, de este modo podemos formar la sal amónica, sódica o potásica entre otras. Habitualmente se utiliza en forma de sal, esta sal se añade al material al cual se pretende dar ciertas propiedades repelentes frente a líquidos u otras sustancias. Su fórmula molecular del PFOS es: **C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>3</sub>H**. La estructura del compuesto es la que se muestra en la figura 3:

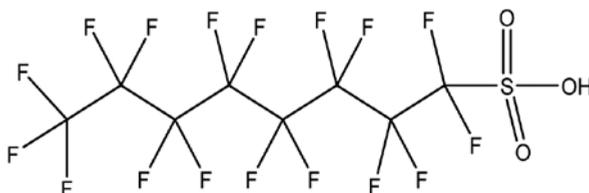


Figura 3: *Ácido perfluorooctanosulfónico*

En la tabla 1 se indican algunas de las propiedades físicas y químicas de la sal potásica de PFOS **(C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>3</sub>K)(C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>3</sub>K)<sub>2</sub>**

| PROPIEDAD                    | VALOR                                      |
|------------------------------|--|
| Apariencia a T y P ambientes | Sólido blanco                              |
| Masa molecular               | 538 g/mol                                  |
| Presión de vapor             | 3.31x10 <sup>-4</sup> Pa(20°C)             |
| Solubilidad en agua pura     | 519 mg/L (20±0.5°C)<br>680 mg/L (24-25 °C) |
| Punto de fusión              | >400 °C                                    |
| Punto de ebullición          | No medido                                  |
| pK <sub>2</sub>              | -3.3                                       |

Tabla 1: *Propiedades PFOS*

PFOA: Ácido perfluorooctanoico<sup>2</sup>. Es un ácido orgánico de longitud 8 átomos de C, donde todos los hidrógenos de la cadena carbonada han sido sustituidos por átomos de flúor. Sobre uno de los carbonos terminales tenemos el grupo ácido carboxílico. En agua este ácido se encuentra disociado. Dado que la cadena carbonada es fuertemente apolar, las moléculas no se encuentran distribuidas al azar en la disolución acuosa. Las moléculas sitúan la cadena carbonada en la superficie mientras que el grupo carboxilo lo orientan hacia la disolución. Esto explica que el

PFOA se utilice como tensioactivo, y por consiguiente se puedan formar micelas. Su fórmula molecular es:  $C_8HF_{15}O_2$  y su estructura es la indicada en la figura 4:

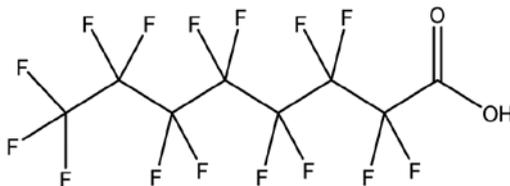


Figura 4: *Ácido perfluorooctanoico.*

En la tabla 2 se indican algunas de las propiedades físicas y químicas del PFOA:

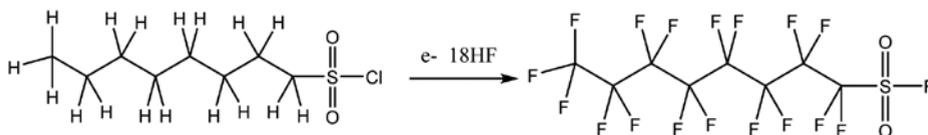
| PROPIEDAD                    | VALOR                |
|------------------------------|----------------------|
| Apariencia a T y P ambientes | Sólido blanco ceroso |
| Masa molecular               | 414 g/mol            |
| Presión de vapor             | 10mmHg (25°C)        |
| Solubilidad en agua pura     | 9.5 g/L (25 °C)      |
| Punto de fusión              | 45-50 °C             |
| Punto de ebullición          | 189-192 °C (736mmHg) |
| pK <sub>2</sub>              | 2.5                  |

Tabla 2: *Propiedades PFOA* (T: Temperatura; P: Presión).

## 2. SÍNTESIS

En este punto se abordará el estudio de la síntesis de PFOS y sus derivados, así como la síntesis de PFOA y sus derivados. Aquí es importante destacar que estos compuestos no existen de manera natural, es decir, no existen reservas naturales de las cuales obtener estos componentes. Son compuestos artificiales que se obtienen mediante diferentes procesos.

PFOS: El material de partida es el cloruro de octanosulfonilo  $C_8H_{17}SO_2Cl$  que se hace reaccionar con HF. Mediante un proceso de fluoración electroquímica (ECF) se obtiene el fluoruro de perfluorooctanosulfonilo (POSF).



POSF: El POSF es un producto intermediario que se utiliza para sintetizar estos compuestos, no solo el PFOS sino otros de esta familia como distintos tipos de amidas, silanos o carboxilatos.

La hidrólisis del POSF da lugar al PFOS. A partir de PFOS ya podemos obtener la sal adecuada (amónica, potásica, sódica...).

PFOA: En este caso el producto comercial es el perfluorooctanoato de amonio (APFO) cuya fórmula semidesarrollada es  $[\text{F}(\text{CF})_2]_7\text{COONH}_4$ . Para obtener el PFOA basta con un tratamiento ácido sobre la sal amónica comercial.

Para obtener el APFO existen dos procedimientos diferentes:

- Fluoración electroquímica (ECF): Presenta la desventaja de que obtenemos isómeros lineales y ramificados. Partimos del fluoruro de octanoilo y lo sometemos al procedimiento ECF con HF. Obteniéndose así el fluoruro de perfluorooctanolio, después por hidrólisis obtendríamos el ácido y mediante el tratamiento con una sal de amonio adecuada obtendríamos el producto comercial.
- Oxidación del yoduro de perfluorooctilo: Solo se obtienen isómeros lineales. Se basa en la oxidación directa del material de partida, que en este caso es el yoduro de perfluorooctilo.

### 3. PRINCIPALES USOS:

La estructura molecular de estos compuestos hace que presenten unas características idóneas para ser empleados como repelentes y protectores<sup>3</sup> en diferentes objetos y materiales. Por ejemplo el PFOS es repelente tanto del agua como de las grasas.

A continuación se exponen algunos ejemplos<sup>3 4</sup> en los cuales se utilizan el PFOS y el PFOA:

3 N. SAITO, K. NAKATOME, K. HARADA, T. YOSHINAGA, A. KOIZUMI, "Perfluorooctane Sulfonate Concentrations in Surface Water in Japan", *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 45 (2003) 149-158.

4 K. WILLE, J. VANDEN BUSSCHE, H. NOPPE, E. DE WULF, P. VAN CAETER, C.R. JANSSEN, H.F. DE BRABANDER, L. VANHAECKE, "A validated analytical method for the determination of perfluorinated compounds in surface-, sea- and sewagewater using liquid chromatography coupled to time-of-flight mass spectrometry", *Journal of Chromatography A* 1217 (2010) 6616-6622.

- Protector de ropa.
- Repelente de manchas en alfombras.
- Espumas anti-fuego.
- Productos de limpieza.
- Tensioactivos.
- Papel anti-grasa.
- Resistentes al ataque químico, tanto de ácidos fuertes como de bases fuertes.
- En aviación se utilizan en diferentes fluidos hidráulicos.
- Abrillantadores y barnices.
- Aditivo de materiales poliméricos y otros materiales.

La multinacional 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Company) utilizó estos compuestos durante años en diversos de los materiales o productos citados anteriormente. Cuando en los bancos mundiales de sangre se detectó la presencia de PFOA y PFOS, y tras realizar diversos estudios toxicológicos, la multinacional decidió dejar de utilizar dichos compuestos.

#### 4. PELIGROS, TOXICIDAD Y ENFERMEDADES

Peligros: Uno de los principales peligros que presentan estos compuestos en el medio ambiente es su persistencia. Se trata de compuestos que debido a su tipo de enlace son muy estables y no se degradan mediante los diferentes procesos biológicos, químicos o térmicos que se dan en la naturaleza. También el hecho de ser hidrofóbicos y tener baja volatilidad hace que persistan en el medio natural. Por ejemplo el PFOS presenta un tiempo de vida media en la atmósfera de 114 días mientras que en agua ese tiempo de vida media se eleva por encima de los 41 años. Todo esto hace que se vayan acumulando en el entorno.

A finales de los años 90 la multinacional 3M encontró estas sustancias en muestras del banco mundial de sangre, lo cual provocó que diversos organismos investigasen la presencia de estas sustancias en el medio ambiente y en las personas. Al detectarse su presencia y debido a su peligrosidad para la salud fueron incluidos en mayo del 2009 en la lista de Contaminantes Orgánicos Persistentes.

Toxicidad y enfermedades: El ser humano está diariamente expuesto a un elevadísimo número de sustancias que son perjudiciales para la salud. Dos de ellas son el PFOA y el PFOS debido a que en el pasado fueron utilizados como repelentes de agua y grasas en muchos productos. Las características de estos compuestos los ha-

cen idóneos para ser utilizados en diversos materiales que nos rodean. El problema que nos encontramos es que poco a poco estos compuestos se liberan del material y pueden pasar a nuestro organismo. La forma a través de la cual entran en el organismo puede ser por ingestión, inhalación o contacto directo a través de la piel.

Las principales fuentes de exposición a estos compuestos son el agua, el aire o los alimentos, como por ejemplo el pescado.

En el organismo tanto de animales como de seres humanos nos encontramos con el mismo problema que en el medio ambiente, y es que estos compuestos tras un período de exposición quedan acumulados en el organismo. Diferentes estudios muestran que principalmente se acumulan en el hígado, en el riñón y en la sangre. La vida media de eliminación se ha estimado en más 90 días en ratas y alrededor de 5.4 años en humanos.

Diversos estudios<sup>5,6</sup> han mostrado que el PFOS afecta principalmente al hígado y a los parámetros bioquímicos asociados al metabolismo de lípidos. Afecta también al crecimiento del cuerpo. Otros estudios han mostrado que el PFOS presenta neurotoxicidad<sup>7</sup> y genotoxicidad<sup>8</sup>, además de ser un posible cancerígeno.

Respecto al PFOA podemos decir que sus efectos sobre el organismo son similares a los del PFOS, ya que afecta principalmente al hígado y al riñón. También es neurotóxico, genotóxico y cancerígeno. Como diferencia con respecto al PFOS podemos destacar que el tiempo de vida media de eliminación del organismo en caso de seres humanos es de alrededor de 3.8 años y que es una sustancia que produce irritación sobre la piel.

La E.P.A (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) recomienda que una persona no debe estar expuesta a concentraciones superiores a 0.65 ng/L<sup>9</sup>.

5 Página Web: 65 FR 62319 (10/18/2000) Available from, as of March 31, 2003: <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-TOX/2000/October/Day-18/t26751.htm> (fecha consulta: 03/07/2018)

6 S. FALK, K. FAILING, S. GEORGII, H. BRUNN, T. STAHL, "Tissue specific uptake and elimination of perfluoroalkyl acids (PFAAs) in adult rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after dietary exposure". *Chemosphere* 129 (2015) 150–156.

7 N. JOHANSSON, A. FREDRIKSSON, P. ERIKSSON, "Neonatal exposure to perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) causes neurobehavioural defects in adult mice", *Neurotoxicology* 29 (2008) 160-169.

8 UK FSA (United Kingdom Food Standards Agency), 2006. Fluorinated chemicals: UK dietary intakes 11/06 June 2006. Available at: <http://food.gov.uk/science/surveillance/fsisbranch2006/fsis1106>

9 U.S. E.P.A. (2012); "Emerging Contaminants-Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA)"; (May 2012); United States Environmental Protection Agency; pg 6

## 5. METODOLOGÍA ANALÍTICA

### 5.1. AGUA

Existen diferentes metodologías analíticas para determinar la presencia y cuantificar la concentración de estos compuestos en muestras acuosas, siendo la más útil la cromatografía de líquidos acoplada a un espectrómetro de masas (HPLC-MS)<sup>10</sup>, ya que permite la identificación de cada uno de los diferentes compuestos de la familia de los PFOSs y PFASs (Compuestos perfluorooctanóicos). Esta es la técnica empleada en el trabajo de investigación que se va a comentar a continuación.

#### 5.1.1. *Toma y tratamiento de muestra*

Dado que estos compuestos tienen propiedades tensioactivas, a la hora de tomar la muestra<sup>4</sup> es importante tener en cuenta la tendencia de estos compuestos a presentarse sobre la superficie de la masa acuosa, disminuyendo fuertemente su concentración incluso a escasos centímetros de la superficie.

Los recipientes para el almacenamiento de la muestra no deben estar fabricados ni contener materiales fluoropoliméricos, ya que podrían existir fenómenos de (des)absorción o (des)adsorción sobre la superficie del material del recipiente modificando la concentración de los analitos interés.

Respecto al tratamiento de muestra debemos decir que la filtración debe ser una operación a evitar, debido a la naturaleza tensio-activa de los analitos. En caso de ser necesaria deben utilizarse filtros de polipropileno. En el caso de muestras acuosas procedentes del mar es necesario eliminar el cloro residual, utilizando tiosulfato sódico.

Generalmente estos analitos se presentan en concentraciones muy bajas, por lo que de manera general es necesario llevar a cabo una etapa de pre-concentración. Habitualmente se utiliza una columna C18 para realizar una técnica SPE (extracción en fase sólida). Cuando los analitos se encuentran a nivel de trazas es necesario realizar una SPME (micro-extracción en fase sólida). Habitualmente el eluyente utilizado es MeOH (metanol). El pH debe mantenerse entre 6 y 11.

10 MOODY, A. CHERYL, W.C. KWAN, J.W. MARTIN, D.C.G. MUIR, S.A. MABURY, "Determination of Perfluorinated Surfactants in Surface Water Samples by Two Independent Analytical Techniques: Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry and RMN F19", *Analytical Chemistry* 73 (2004) 2-4.

## 5.1.2. LC/MS y cuantificación

Es necesario llevar a cabo una calibración del equipo antes de analizar las muestras. En un rango de las rectas de calibración<sup>3</sup> de los PFOSs que varía entre 0.1-100 µg/L; para ello se inyectan los patrones manteniendo un caudal de 0.2 mL/min. Una vez calibrado el equipo, se inyectan 10 µL del extracto en MeOH con un caudal de 0.2 mL/min (tabla 3).

Respecto al espectrómetro de masas es necesario decir que la ionización se produce mediante electro-spray. Las características del equipo podemos verlas en la tabla 4.

Con esta metodología analítica el límite de detección es de 0.3 pg (definido por una relación señal/ruido 3:1), mientras que el límite de cuantificación se sitúa en 0.1 ng/L (definido por un C.V. límite < 20% y para cuando se parte de una muestra de 1 L de agua superficial).

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Equipo                               | Agilent 1100  |
| Columna                              | Zorbax XDB C-18 (Agilent Narrow-Bore<br>2.1x150 mm, 5 µm)   |
| Fase móvil                           | <b>A: CH<sub>3</sub>CN</b><br><b>B: 10 mM <math>\frac{\text{CH}_3\text{COONH}_4}{\text{H}_2\text{O}}</math></b> |
| Caudal                               | <b>A:B = 45:55</b>  |
| Temperatura de trabajo de la columna | 40°C  |
| Volumen inyectado                    | 10 µL   |

Tabla 3: *Equipo cromatográfico y condiciones cromatográficas.*

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Equipo                   | Agilent MSD SL                           |
| Ionización               | Mediante electro-spray                   |
| Nebulizador              | N <sub>2</sub> (50 psig)                 |
| Flujo de gas secado      | <b>N<sub>2</sub></b> (10.0 L/min 350 °C) |
| Modo de polarización     | Negativa                                 |
| Voltaje del fragmentador | 200 V                                    |
| Voltaje Vcap             | 4000 V                                   |
| SIM (m/z)                | 499 (M - K)                              |

Tabla 4: *Características del espectrómetro de masas.*

### 5.1.3. Identificación de picos

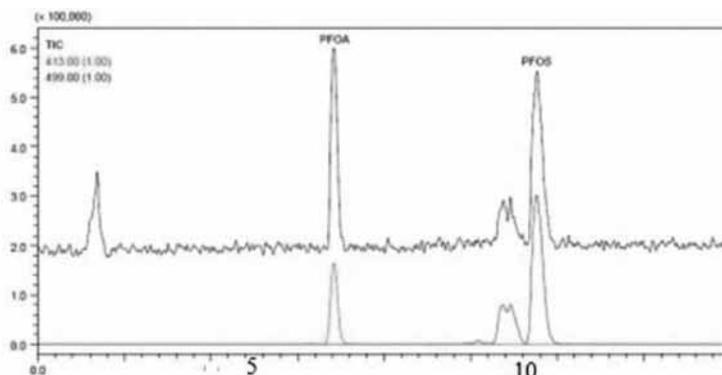


Figura 5: Cromatograma obtenido para el análisis de PFOS y PFOA

En la figura 5 observamos un cromatograma típico de PFOS y PFOA. Podemos observar que el pico más grande sale a un tiempo de retención de 11.15 min, si bien observamos dos picos de menor tamaño a tiempos 9.13 min y 9.68 min respectivamente, que podrían corresponder algún tipo de isómero del PFOS.

En ese cromatograma también podemos observar el pico correspondiente al PFOA, que sale tras un tiempo de retención menor.

### 5.1.4. Uso de este método

Esta metodología fue utilizada por Saito et al.<sup>3</sup> para la determinación de PFOS en aguas de Japón. La E.P.A. estadounidense recomienda que una persona no debe estar expuesta a concentraciones de PFOS superiores a 0.65 ng/L<sup>10</sup>. Sin embargo en el artículo publicado por estos investigadores japoneses se puede ver una tabla en la cual se recogen todas las regiones que fueron objeto de la investigación y en ella se muestran las concentraciones de PFOS encontradas, pudiendo observar que, del total de 111 zonas analizadas, en la mayoría de las regiones se supera ese límite.

A continuación se muestra un resumen de las zonas en las cuales la concentración de PFOS encontrada fue superior a 6.5 ng/L.

| LUGAR           | Concentración/(ng/L) | LUGAR       | Concentración/(ng/L) |
|-----------------|----------------------|-------------|----------------------|
| Río Kii         | 19.6                 | Río Tsurumi | 72.6                 |
| Río Doki        | 15.8                 | Río Sagami  | 31.2                 |
| Río Siroishi    | 10.2                 | Río Jinzu   | 135                  |
| Bahía Yamashita | 7.4                  | Río Nagara  | 6.6                  |
| Bahía Nagoya    | 20.6                 | Río Yasu    | 7.6                  |
| Bahía Koshien   | 25.2                 | Río Suzuka  | 10.3                 |
| Río Ara 1       | 15.1                 | Río Ina     | 32.3                 |
| Río Ara 2       | 38.5                 |             |                      |
| Río Ara 3       | 13                   |             |                      |

Tabla 5: Zonas de Japón donde la concentración de PFOS encontrada fue superior a diez veces el valor de exposición máximo recomendado.

Tabla obtenida de: Saito et al.

Se puede concluir que hay muchas zonas en las cuales se alcanzan concentraciones de PFOS muy superiores al límite de exposición máximo.

### 5.1.5. Otras metodologías

RMN F<sup>19</sup>: La resonancia magnética nuclear de F<sup>19</sup><sup>10</sup>, es una técnica muy similar a la RMN de protón, ya que el isótopo F<sup>19</sup> presenta un núcleo magnéticamente activo. Esta técnica permite la detección y cuantificación de compuestos perfluoroalquilados totales, pero no permite indentificar cuáles están presentes. Es una técnica no específica, siendo su límite de detección de 10 µg/L.

Combustión: Es una de las técnicas más antiguas que podemos encontrar en la bibliografía<sup>11</sup> para el análisis de PFOSs. El contenido total de flúor orgánico puede ser determinado por el método de Wickbold, método en el que el flúor orgánico es transformado en fluoruro. La muestra es vaporizada en una cámara con una llama de oxo-hidrógeno, donde se descompone en dióxido de carbono y fluoruro de hidrógeno. El HF es recogido en una disolución de NaOH y valorado con nitrato de torio. Se trata de un método no específico ya que no permite identificar cada compuesto, sino determinar el contenido total de flúor.

11 P. DE VOOGT, M. SÁEZ, "Analytical chemistry of perfluoroalkylated substances", *Trends in Analytical Chemistry* 25 (2006) 330-335.

Cromatografía líquida acoplada a un espectrómetro de masas de tiempo de vuelo: Esta técnica proporciona una sensibilidad adecuada y permite la detección de los PFCs objetivo. En un estudio publicado en *Journal of Chromatography A* sobre la validación de un método analítico para la determinación de compuestos perfluorados en aguas superficiales, aguas de mar y aguas residuales de diferentes lugares de Bélgica empleando esta metodología<sup>4</sup>, se eligieron 14 PFCs, incluyendo 4 compuestos perfluoroalquilados, 9 ácidos perfluoroalquil-carboxílicos y la perfluorooctanosulfonaamida. Las condiciones cromatográficas utilizadas fueron:

- Fase móvil: 2.5 mM acetato amónico en agua (A) y MeOH (B).
- Fase estacionaria: C18 Columna HPLC.
- Gradiente de concentración 0.3 mL/min comenzando con una mezcla 50% de A y 50% de B, incrementándose hasta un 90% B en 10 min.
- Los analitos fueron detectados con un espectrómetro de masas de tiempo de vuelo equipado con un electro-spray.

## 5.2. AIRE

En el caso del aire también existe una metodología variada, siendo la más habitual aquella que utiliza una técnica cromatográfica para la separación de los componentes y un espectrómetro de masas para la identificación de los mismos. En el caso del aire, hablaremos de partículas y sustancias volátiles

### 5.2.1. Toma de muestra

Si se pretende medir compuestos perfluoroalquilados que se encuentran en la atmósfera en forma de partículas, la toma de muestra se hace mediante captadores de alto volumen. Estos captadores tienen una serie de filtros que retienen a las partículas. La cantidad de aire que pasa por el filtro oscila entre 600 y 1500 m<sup>3</sup>.

Si lo que se pretende analizar son los PFAS volátiles, el proceso de toma de muestra es diferente. En este caso se utiliza una trampa fría donde condensan los compuestos.

### 5.2.2. Técnica

Generalmente se utiliza la cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas cuando se pretende analizar los PFAS volátiles. Si el objeto de análisis

son los PFAS en forma de partículas se utiliza la cromatografía líquida acoplada a un espectrómetro de masas. Para ello lo que se hace es extraer en metanol los analitos que se encuentran en el filtro y después se inyectan los extractos de metanol. Los PFAS iónicos son extraídos de los filtros mediante ultrasónicos en metanol y después son analizados mediante cromatografía líquida acoplada a un espectrómetro de masas de tiempo de vuelo con ionización por electro-spray<sup>2</sup>.

### 5.3. ALIMENTOS, MUESTRAS BIOLÓGICAS Y PRODUCTOS DE CONSUMO

La metodología a seguir en todos los casos es la misma. Una primera etapa en la cual el objetivo consiste en extraer de la muestra los analitos de interés. Para ello se utilizan diferentes tipos de extracción: extracción en fase sólida (SPE), microextracción en fase sólida (SPME), extracción mediante ultrasónicos... El tipo de extracción utilizado dependerá, en parte, de la matriz en la que se encuentren los analitos. El objetivo de esta primera etapa consiste en conseguir los analitos de interés en unas condiciones adecuadas para posteriormente ser analizados mediante alguna modalidad cromatográfica (LC o GC) acoplada a un espectrómetro de masas.

La segunda etapa consiste en la separación, identificación y cuantificación de los analitos de interés que, como anteriormente se ha dicho, se utiliza alguna modalidad cromatográfica acoplada a un espectrómetro de masas.

## 6. CONCLUSIONES

Cuando hablamos de compuestos perfluoroalquilados nos referimos a un gran grupo de compuestos. Estas moléculas poseen dos partes en su estructura molecular: una cadena carbonada y una cabeza polar. El tipo de enlace y la estructura confieren a estos compuestos unas propiedades excelentes como repelentes.

En síntesis, salvo que se utilice la oxidación directa (PFOA), se producen compuestos de cadena lineal y compuestos de cadena ramificada con el mismo número de átomos de carbono.

Sus principales usos son como repelentes de manchas y protectores, debido a su carácter hidrofóbico y lipofóbico.

Desde el punto de vista medioambiental son peligrosos porque se acumulan en el medio ambiente y en el organismo. Son cancerígenos y afectan principalmente al hígado y a los riñones.

Con respecto a la metodología analítica cabe destacar que generalmente se recurre a técnicas cromatográficas, ya que estas permiten separar los diferentes com-

puestos que forman este grupo. Otras técnicas permiten determinar el contenido total de compuestos perfluoroalquilados pero no identificar los que están presentes. Por eso la cromatografía es la mejor técnica para el análisis de estos compuestos.

En el artículo de investigación llevado a cabo por investigadores japoneses observamos que en una gran cantidad de zonas se supera el límite de exposición máximo permitido. Lo cual pone de manifiesto que estas sustancias están presentes en el ambiente en el que actualmente vivimos.

A pesar de sus riesgos, están presentes en el agua, en el aire, en alimentos y en muchos materiales que utilizamos a diario.