

**Colombi, Camila**

---

**Contaminantes emergentes  
en el ambiente: estado de  
situación y efectos de los  
compuestos  
perfluoroalquilados y  
polifluoroalquilados (pfas)  
en la salud humana**

**Tesis para la obtención del título de  
grado de Bioquímica**

Directora: Díaz Panero, Mariángeles

Documento disponible para su consulta y descarga en Biblioteca Digital - Producción Académica, repositorio institucional de la Universidad Católica de Córdoba, gestionado por el Sistema de Bibliotecas de la UCC.



[Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento- No Comercial 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**



**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CÓRDOBA**  

---

*Universidad Jesuita*

**“CONTAMINANTES EMERGENTES EN EL AMBIENTE:  
ESTADO DE SITUACIÓN Y EFECTOS DE LOS  
COMPUESTOS PERFLUOROALQUILADOS Y  
POLIFLUOROALQUILADOS (PFAS) EN LA SALUD  
HUMANA”**

Trabajo final de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Córdoba conforme a los requisitos para obtener el título de Bioquímica

Por

COLOMBI Camila

CÓRDOBA

2024

**Directora de Trabajo Final**

Mag. Bioq. Mariángeles DÍAZ PANERO

**Comisión de Trabajo Final**

Dr. Juan Carlos NICOLÁS

## ÍNDICE GENERAL:

TABLA DE ABREVIATURAS:.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS:.....	III
1.INTRODUCCIÓN:.....	2
1.1 Objetivos .....	3
2. MARCO TEÓRICO:.....	4
2.1 PFAS, definición y clasificación .....	4
2.2 Historia de los PFAS .....	5
2.3.1 Distribución en el Medio Ambiente: Presencia en el agua .....	6
2.3.2 Distribución en el Medio Ambiente: Presencia en el aire .....	7
2.3.3 Distribución en el Medio Ambiente: Presencia en el suelo.....	8
2.4 Presencia en la Salud Humana: exposición y efectos adversos .....	9
2.5 Métodos de Detección y Mitigación.....	11
2.6 Regulación Nacional e Internacional .....	15
3. DISCUSIÓN:.....	17
4. CONCLUSIÓN:.....	19
5. BIBLIOGRAFÍA:.....	20

## **TABLA DE ABREVIATURAS:**

<b>ABREVIATURA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<b>CEs</b>	Contaminantes emergentes
<b>COP</b>	Convenio de Estocolmo
<b>ECHA</b>	Agencia Europea de Sustancia Químicas
<b>EPA</b>	Agencia de Protección Ambiental
<b>FTOH</b>	Alcoholes fluorotelómeros
<b>GAC</b>	Carbón activado granular
<b>GC-MS</b>	Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas
<b>HRMS</b>	Espectrometría de Masas de Alta Resolución
<b>LC/MS</b>	Cromatografía Líquida acoplada a Espectrometría de Masas en Tándem
<b>mg/kg</b>	Miligramos por Kilogramo
<b>MS</b>	Espectrometría de Masas
<b>ng/L</b>	Nanogramos por Litro
<b>OM</b>	Materia orgánica
<b>PFAS</b>	Compuestos perfluoroalquilados y polifluoroalquilados
<b>PFOA</b>	Ácido perfluorooctanoico
<b>PFOS</b>	Ácido perfluorooctano sulfónico
<b>PFTE</b>	Politetrafluoroetileno
<b>ppb</b>	Partes por billón
<b>ppt</b>	Partes por trillón

**REACH**

Registro, Evaluación, Autorización  
y Restricción de Sustancias  
Químicas

**µg/kg**

Microgramos por Kilogramo

## ÍNDICE DE FIGURAS:

<b>Figura 1.</b> Estructuras químicas de los PFAS no poliméricos con distintos grupos funcionales (A,B) y poliméricos (C,D). La estructura C es del politetrafluoroetileno (PTFE) conocido como teflón y la estructura D es un lubricante conocido como Krytox.....	5
<b>Figura 2.</b> Estructuras químicas de PFOS y PFOA..	6
<b>Figura 3.</b> Distribución y concentración en ng/L de PFAS en matrices acuáticas del mundo en el paso de las décadas.....	7
<b>Figura 4.</b> Estructura química FTOH. ....	8
<b>Figura 5.</b> Vías de exposición humana a los PFAS .....	9
<b>Figura 6.</b> Productos que contienen PFAS .....	10
<b>Figura 7.</b> Efectos de los PFAS en la salud humana .....	11
<b>Figura 8.</b> Diagrama de un equipo de LC-MC .....	12
<b>Figura 9.</b> Diagrama de un equipo de MC .....	13
<b>Figura 10.</b> Diagrama de un equipo de GC-MS.. .....	14
<b>Figura 11.</b> Interacciones entre la materia orgánica (OM) y los PFAS durante el proceso de adsorción con GAC.....	14
<b>Figura 12.</b> Interacciones entre la materia orgánica (OM) y los PFAS durante el proceso de intercambio iónico.....	15

## RESUMEN

Este trabajo realiza una evaluación integral de los compuestos perfluoroalquilados y polifluoroalquilados (PFAS), contaminantes emergentes (CEs), caracterizados por su extrema persistencia ambiental y capacidad de bioacumulación. Debido a la estabilidad del enlace carbono-flúor, estos compuestos se distribuyen globalmente en agua, aire, suelo y biota, integrándose en las cadenas tróficas y alcanzando niveles detectables en el organismo humano.

El estudio analiza las principales vías de exposición, como el consumo de agua contaminada y el uso de productos industriales (textiles, envases y espumas ignífugas), vinculándolas con efectos adversos graves: cáncer, disrupciones endocrinas, inmunotoxicidad y daños hepáticos. Asimismo, se examinan las metodologías de detección, destacando la Cromatografía Líquida acoplada a Espectrometría de Masas (LC-MS) como la técnica más eficaz frente a las bajas concentraciones (ppb/ppt) en que se hallan estas sustancias.

En cuanto a la mitigación, se evalúan tecnologías como el carbón activado y las resinas de intercambio iónico, señalando que su eficiencia es parcial.

Finalmente, el análisis del marco regulatorio revela una inconsistencia normativa global; se concluye que es urgente armonizar las regulaciones internacionales y fomentar el desarrollo de alternativas biodegradables para mitigar este riesgo sanitario y ambiental de alcance mundial.

## **1.INTRODUCCIÓN:**

La creciente preocupación por la contaminación ambiental ha centrado su atención en una nueva categoría de compuestos químicos conocidos como CE. Entre estos, los PFAS han adquirido relevancia por su persistencia en el ambiente debido a su capacidad para bioacumularse y biomagnificarse en las cadenas tróficas, causando posibles efectos tóxicos sobre los eslabones. Los PFAS representan una clase heterogénea de sustancias ampliamente utilizadas en diversas aplicaciones industriales y de consumo, tales como productos para recubrimientos de superficies, envases alimentarios, espumas para combatir incendios, textiles y productos de cuidado personal. Esta persistencia extrema se debe a que estos compuestos son altamente estables por la fortaleza de los enlaces carbono-flúor, otorgándoles resistencia a la degradación química y térmica, lo que les concede una alta estabilidad química, llevando a que estas sustancias se encuentren distribuidas en distintos entornos ambientales, incluyendo agua, aire, suelo y biota, en zonas urbanas hasta áreas remotas (Abunada et al., 2020).

Esta amplia distribución de los PFAS en el medio ambiente hace que puedan detectarse estos compuestos en sangre, orina y tejidos humanos, generando preocupación sobre sus efectos adversos en la salud humana, los cuales incluyen alteraciones en el sistema endocrino, debilitamiento del sistema inmunológico, daños hepáticos, y un mayor riesgo de desarrollar cáncer. A nivel ambiental, los PFAS pueden afectar gravemente a los ecosistemas, alterando la dinámica de especies acuáticas y terrestres. Además, al no estar regulados en muchos países, su concentración en el ambiente sigue aumentando de manera insostenible, mientras que las técnicas actuales de purificación del agua no son eficaces para su eliminación total (Abunada et al., 2020).

Los contaminantes antes mencionados pueden encontrarse tanto en reservorios de agua naturales hasta en un entorno más directo, como lo es el hogar. Esto, sumado a que, a pesar de que en principio se encuentran en bajas concentraciones, generalmente en partes por billón (ppb) o partes por trillón (ppt), las estrategias actuales de depuración no son adecuadas como así tampoco las técnicas para su detección, adicionalmente, gran parte de estos compuestos no están regulados en la mayoría de los países, lo que conlleva a un aumento insostenible de los mismos (Abunada et al., 2020).

Los efectos adversos de estos compuestos sobre la salud y el ambiente, junto con las dificultades para su detección y mitigación, plantean un desafío importante para los científicos y los responsables políticos. La falta de estándares y regulaciones uniformes, así como las lagunas en la comprensión de su toxicología, contribuyen a la incertidumbre respecto al nivel de riesgo que suponen los PFAS. En este contexto, los esfuerzos por regular y mitigar su presencia en el ambiente se han visto obstaculizados por discrepancias en las normativas internacionales y por la influencia de factores económicos y políticos que han limitado la adopción de medidas más restrictivas (Abunada et al., 2020).

### **1.1 Objetivos**

- Objetivo general: *realizar una evaluación integral sobre la presencia, distribución, efectos de los PFAS en la salud humana y su presencia en el medio ambiente.*
  - o Objetivo específico: *analizar metodologías de detección y regulaciones nacionales y/o internacionales para su control y mitigación.*

## 2. MARCO TEÓRICO:

### 2.1 PFAS, definición y clasificación

Los CEs son sustancias químicas que siempre se han encontrado presentes en el medio ambiente y en el organismo humano, pero que no han sido detectadas por falta de técnicas adecuadas para su identificación. Se encuentran presentes en la mayoría de los productos que adquirimos y si bien son biodegradables, son muy peligrosos debido a su capacidad de bioacumulación, biomagnificación y resistencia a la degradación química y térmica lo que les otorga una gran persistencia en el ambiente (Reinoso et al., 2017).

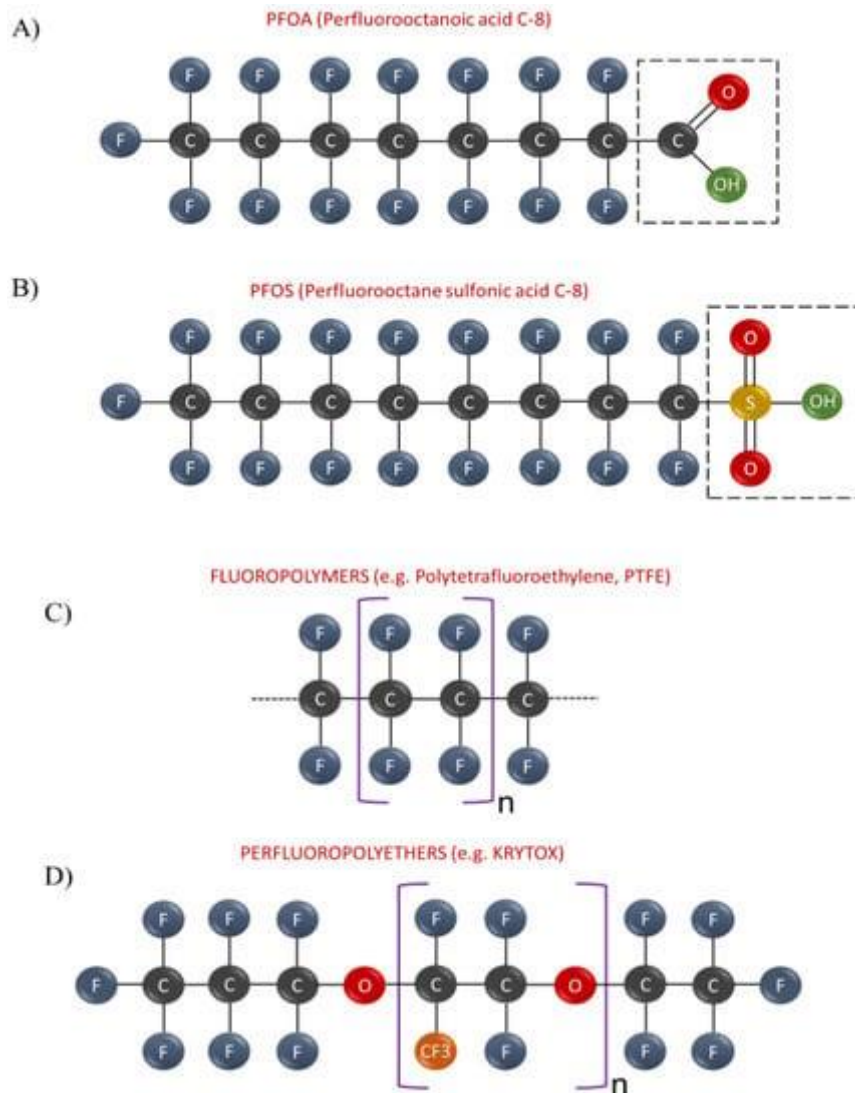
Dentro del grupo de los CEs se encuentran unas sustancias químicas conocidas como PFAS que constituyen un gran grupo heterogéneo de compuestos sintéticos fluorados que están conformados por:

- La presencia de al menos un grupo metilo perfluorado (-CF<sub>3</sub>) o un grupo metileno perfluorado (-CF<sub>2</sub>-).
- Una cantidad variable de átomos de carbono fluorados.
- Presencia de otros grupos funcionales.

Los PFAS se pueden clasificar en sustancias no poliméricas y poliméricas (ej.

#### **Figura 1):**

- Las no poliméricas cuentan con un grupo funcional polar en su extremo terminal como pueden ser el carboxilato (COO<sup>-</sup>), sulfonato (SO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o fosfato (PO<sub>3</sub><sup>-</sup>) lo que les confiere una sección hidrofílica (la cabeza) y el otro extremo carbonado fluorado que les otorga otra sección hidrofóbica (la cola).
- Las PFAS poliméricas incluyen fluoropolímeros que son sustancias que sustituyen los átomos de hidrogeno de la cadena de carbono por átomos de fluoruro.



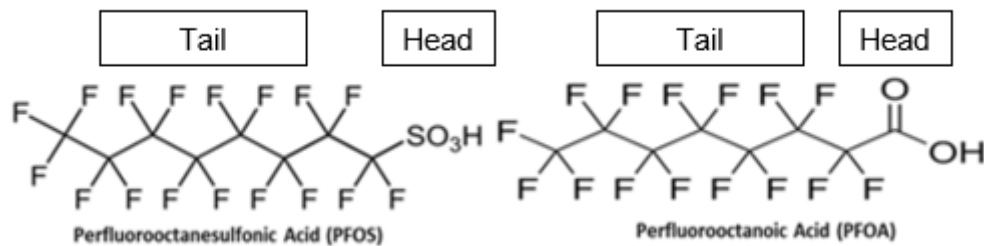
**Figura 1.** Estructuras químicas de los PFAS no poliméricos con distintos grupos funcionales (A,B) y poliméricos (C,D). La estructura C es del politetrafluoroetileno (PTFE) conocido como teflón y la estructura D es un lubricante conocido como Krytox (Panieri et al., 2022, p. 10).

## 2.2 Historia de los PFAS

Los PFAS se han utilizado en la industria y en productos de consumo en todo el mundo desde 1940, para fabricar utensilios de cocina antiadherentes, ropa impermeable, telas y alfombras resistentes a manchas, algunos cosméticos, espumas contra incendios y productos resistentes a la grasa, el agua y el aceite. Los PFAS más estudiados son el ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y el ácido perfluorooctanoico (PFOA), pero debido a su toxicidad se han dejado de producir y utilizar en Estados Unidos. Estos contaminantes pueden migrar al suelo, al agua y al

aire. La mayoría no se descomponen por lo que permanecen en el medio ambiente (ej. **Figura 2**).

Además, los PFAS se encuentran en la sangre de las personas y animales de todo el mundo y están presentes en bajos niveles en una variedad de productos (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024).

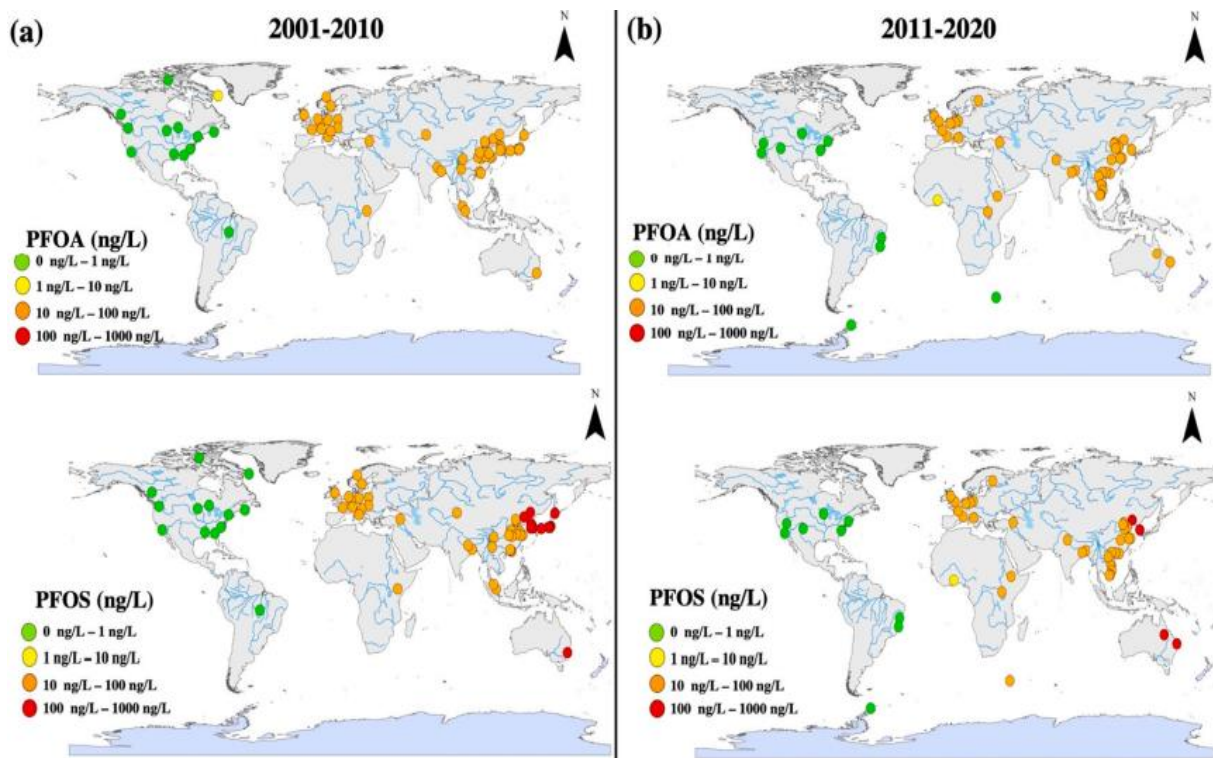


**Figura 2.** Estructuras químicas de PFOS y PFOA. (Lenntech, s.f.).

### 2.3.1 Distribución en el Medio Ambiente: Presencia en el agua

Como se mencionó anteriormente los PFAS contienen distintas propiedades físico-químicas que les otorgan una gran resistencia y alta estabilidad lo que hace poco probable que se degraden fácilmente en el medio ambiente si bien son biodegradables a largo plazo.

En las distintas matrices del agua se ha descubierto que se encuentran especialmente como PFOS y PFOA, por lo cual se ha restringido el uso de estos, planteando una hipótesis de que se produciría un cambio global específicamente en Asia donde son utilizados para distintos tipos de fabricación (ej. **Figura 3**) (Podder et al., 2021).

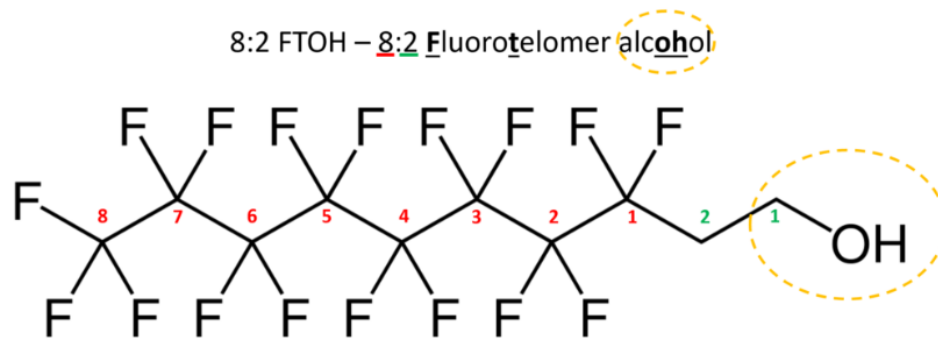


**Figura 3.** Distribución y concentración en ng/L de PFAS en matrices acuáticas del mundo en el paso de las décadas.

Como podemos observar en los distintos continentes hay diferentes concentraciones de PFAS en las matrices acuáticas siendo Asia la más contaminada, especialmente China que se ha considerado la mayor creadora de PFAS debido a su utilización en distintos tipos de fabricación como lo son los electrónicos, textiles, entre otras cosas. A su vez, China ha exportado estos PFAS a países como Japón, Brasil y Estados Unidos, considerándose ahora Estados Unidos el mayor portador de PFAS (Podder et al., 2021, p. 419).

### 2.3.2 Distribución en el Medio Ambiente: Presencia en el aire

Los PFAS incluyendo a los PFOS se encuentra de forma iónica, es decir, en forma particulada. En cambio, los alcoholes fluorotelómeros (FTOH, ej. **Figura 4**) predominan en la fase de vapor (Wen-Long; Kannan, 2024).



**Figura 4.** Estructura química FTOH (Gorzelnik Engineering, 2021).

Se han detectado PFAS en el aire exterior asociados a sitios de producción de estos contaminantes o de grandes procesos de fabricación industrial que utilizan materiales que contienen dichos compuestos. También, se han detectado PFAS en el aire interior y en el polvo doméstico por compuestos como los FTOH, que a menudo se encuentran allí dependiendo de los tipos de productos que se consumen en el hogar.

Debido a la circulación de aire se espera que haya una mayor concentración de PFAS en el aire interior que en el exterior (Michigan Department Of Environment, Great Lakes, And Energy, 2019).

### 2.3.3 Distribución en el Medio Ambiente: Presencia en el suelo

La presencia de los PFAS en el suelo es significativa a nivel global llegando a varios cientos de mg/kg dependiendo de si se examina en un sitio contaminado o no contaminado. Los sitios altamente contaminados son áreas donde se han llevado actividades industriales específicas como, por ejemplo: zonas de entrenamiento de incendios, aeropuertos, instalaciones industriales, militares y nucleares. En algunos casos, se reportaron concentraciones de PFOS de hasta 460.000  $\mu\text{g}/\text{kg}$  y PFOA de hasta 50.000  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Brusseau et al., 2020).

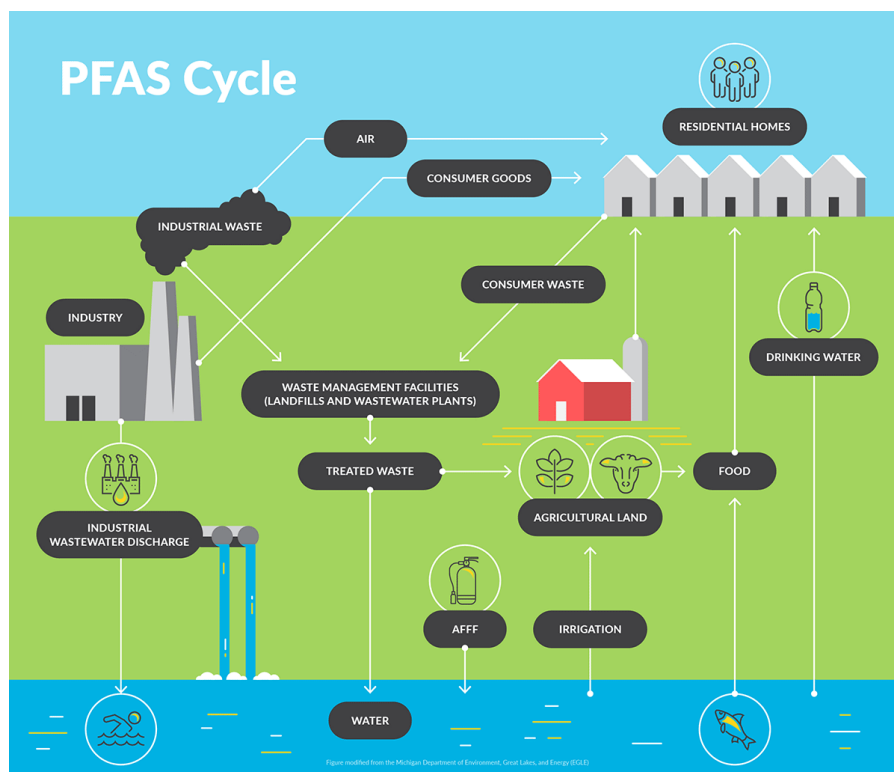
Por otro lado, en áreas donde no hay fuente de contaminación directa, las concentraciones de PFOS y PFOA suelen estar por debajo de 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

Al ser retenidos en el suelo, pasan a mayores profundidades hasta alcanzar las aguas subterráneas. Además, cabe destacar que los suelos son los reservorios de depósito a más largo plazo, causando un riesgo significativo para la salud

humana por su migración del suelo a las plantas y cultivos, para luego pasar a la cadena alimentaria. Por lo que no solo es un reservorio significativo sino también un vector de transporte (Brusseau et al., 2020).

## 2.4 Presencia en la Salud Humana: exposición y efectos adversos

Como ya se ha mencionado anteriormente en este trabajo podemos encontrar PFAS en múltiples matrices: agua, aire, suelo y productos comerciales de distintos tipos como por ejemplo algunos de los más usuales: utensilios de cocina antiadherentes con PTFE (teflón), empaques de alimentos, alimentos contaminados, artículos de cuidado personal, etc. (ej. **Figura 5** y **Figura 6**) (Pelch et al., 2019). Entonces, las vías de exposición principales incluyen el consumo de agua contaminada, alimentos en contacto con envases que contienen PFAS y alimentos contaminados, inhalación de aire contaminado y polvo domésticos, y productos de consumo (Bell et al., 2021).



**Figura 5.** Vías de exposición humana a los PFAS (Cayman Chemical, 2022).

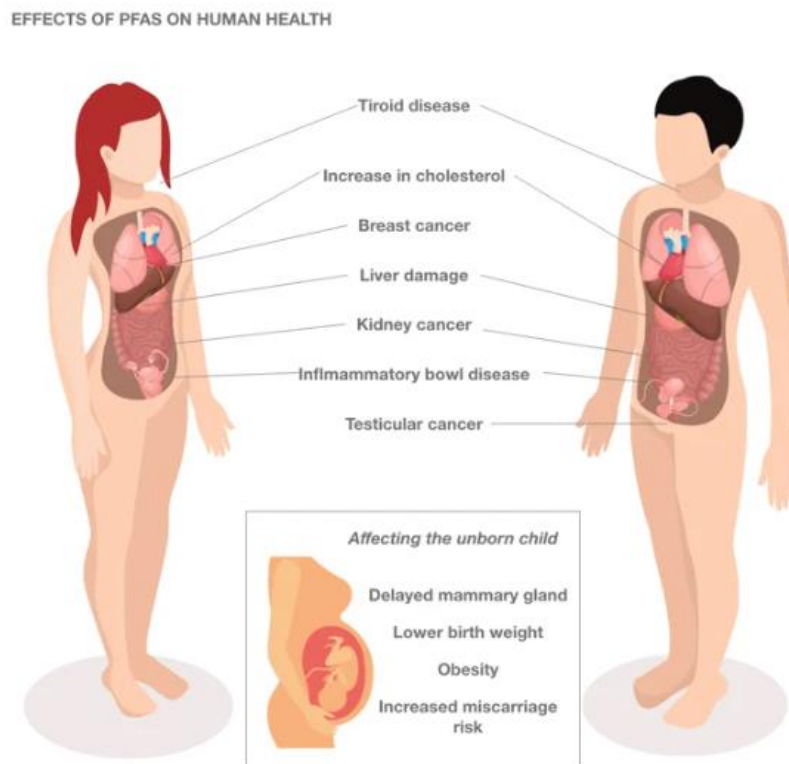


**Figura 6.** Productos que contienen PFAS (Cayman Chemical, 2022).

Estudios de biomonitorio demuestran que prácticamente toda la población humana ha estado expuesta a los PFAS, ya que estos compuestos se encuentran en la sangre de personas en todo el mundo (Pelch et al., 2019). Esto se ha asociado con una serie de efectos adversos en la salud humana como:

- **Cáncer:** existen vínculos claros entre la exposición prolongada a ciertos PFAS como el PFOA y el PFOS, aumentando la posibilidad de ciertos tipos de cáncer como el cáncer de riñón, cáncer testicular y el cáncer de mama.
- **Sistema inmunológico:** la exposición a PFAS puede alterar la función del sistema inmunológico, se ha documentado que reducen la respuesta de anticuerpos dependientes a Linfocitos T, lo que puede disminuir la efectividad a vacunas y aumentar la susceptibilidad a infecciones y enfermedades autoinmunes.
- **Desarrollo y reproducción:** tanto en estudios humanos como en animales se ha demostrado que los PFAS afectan negativamente el desarrollo prenatal y postnatal, incluyendo el bajo peso al nacer, retraso en el desarrollo e infertilidad.

- Metabolismo y función hepática: los PFAS también han sido relacionados con disfunciones metabólicas como lo son la dislipidemia, lo que puede aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares. Además, pueden causar daños hepáticos con el aumento de las enzimas hepáticas y riesgos de enfermedad no alcohólica.
- Endocrinopatías: se ha demostrado que los PFAS interfieren con el equilibrio hormonal, afectando la tiroides y otras glándulas, provocando trastornos metabólicos y reproductores, alterando tanto hombres como mujeres.
- A nivel molecular: los PFAS pueden causar estrés oxidativo e inflamación crónica que resultan en disfunción mitocondrial y alteración de las respuestas inmunológicas (ej. **Figura 7**) (Bell et al., 2021).



**Figura 7.** Efectos de los PFAS en la salud humana (SGS Digicomply, 2020).

## 2.5 Métodos de Detección y Mitigación

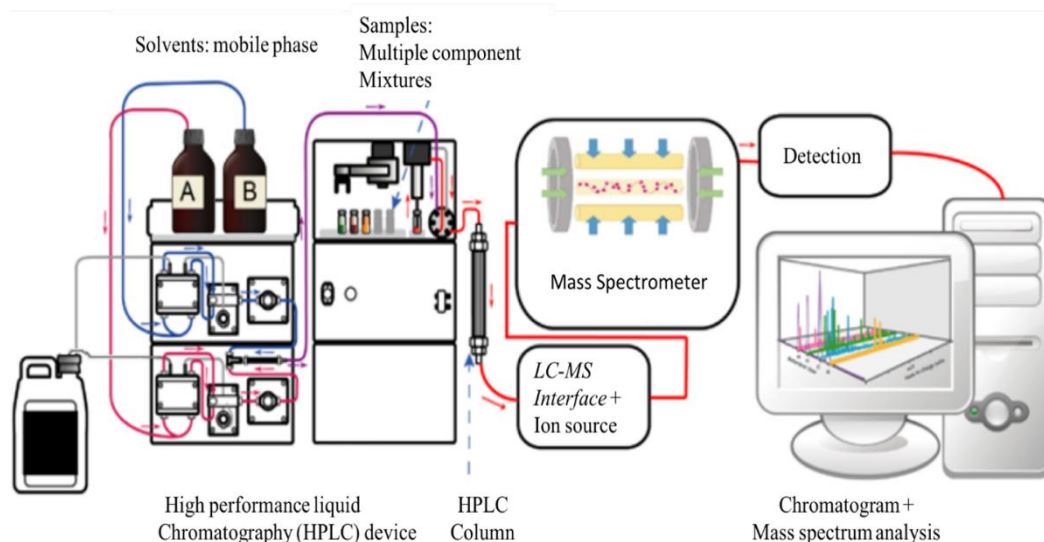
La detección y mitigación de los PFAS es compleja debido a varias de sus características únicas de estos compuestos, lo que dificulta su análisis en

comparación a otros CEs, como lo son su resistencia y variedad de compuestos con estructuras químicas diversas (Buck et al., 2011).

Su detección es compleja debido a la baja concentración en la que los podemos encontrar, ya sea ppb o ppt, por lo que es necesario utilizar métodos extremadamente sensibles y equipos avanzados (Jahnke, Berger; 2009). Además, que al estar presentes en distintos tipos de matrices y productos puede haber contaminación en los laboratorios o en las muestras, como también distintos interferentes. Pero, lo que más dificulta su detección es la falta de estándares analíticos comerciales limitando la capacidad de identificación y cuantificación (Cousins et al., 2016).

Los métodos de detección para PFAS más investigados y utilizados son:

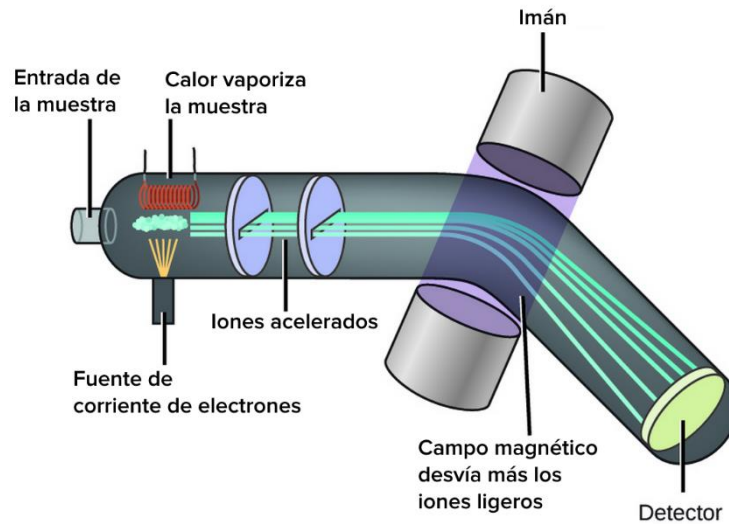
- Cromatografía Líquida acoplada a Espectrometría de Masas en Tándem (LC-MS, ej. **Figura 8**): este método es el más comúnmente utilizado para la detección de los PFAS por su alta sensibilidad y especificidad, permitiendo la identificación y cuantificación de múltiples compuestos de PFAS simultáneamente (Jahnke, Berger; 2009).



**Figura 8.** Diagrama de un equipo de LC-MS (Kailasam, 2024).

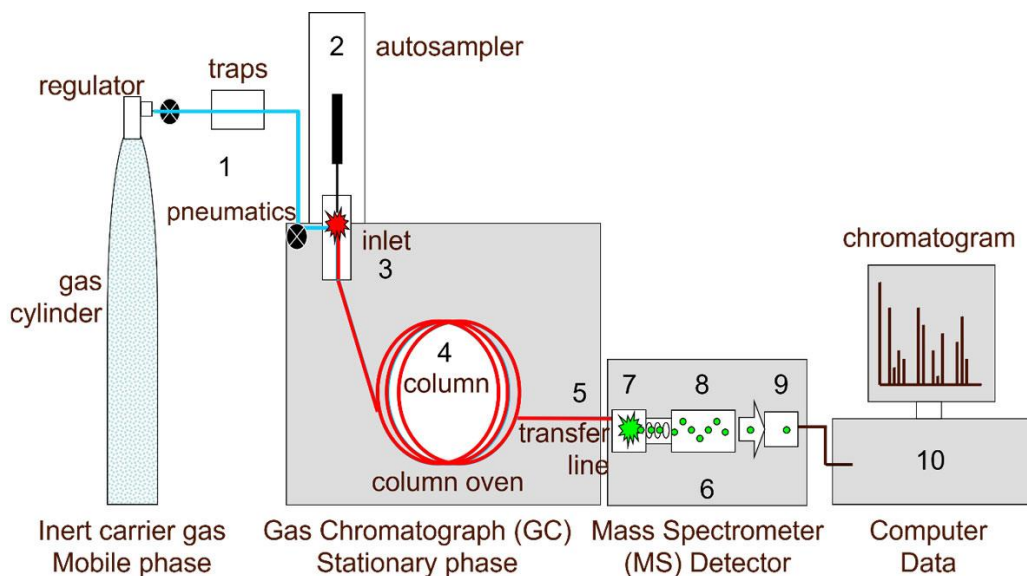
- Espectrometría de Masas de Alta Resolución (HRMS, ej. **Figura 9**): se utiliza para la identificación de PFAS cuando es necesario conocer la estructura

exacta de los compuestos presentes, siendo aplicado en investigación ambiental avanzada y estudios toxicológicos (Pan et al., 2017).



**Figura 9.** Diagrama de un equipo de HRMS (Camacho, 2018).

- Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS, ej. **Figura 10**): aunque es menos común para los PFAS debido a su naturaleza no volátil, se utiliza después de una derivación de las muestras, ya que este método es adecuado para ciertos tipos de PFAS que pueden volatilizarse después de ser transformados químicamente como lo puede ser el FTOH (Wong et al., s/f).

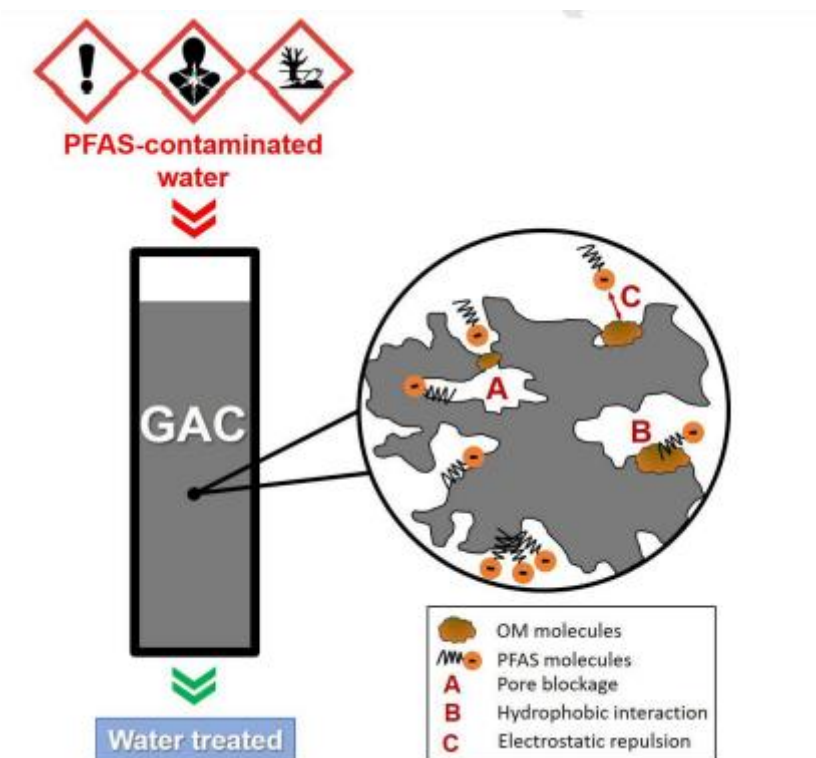


**Figura 10.** Diagrama de un equipo de GC-MS (Turner, 2024).

En resumen, la elección de la técnica depende de los objetivos del estudio: la LC-MS es la opción preferida para el análisis general, la HRMS para estudios de estructura avanzada, y la GC-MS para casos de PFAS volátiles en contextos ambientales específicos.

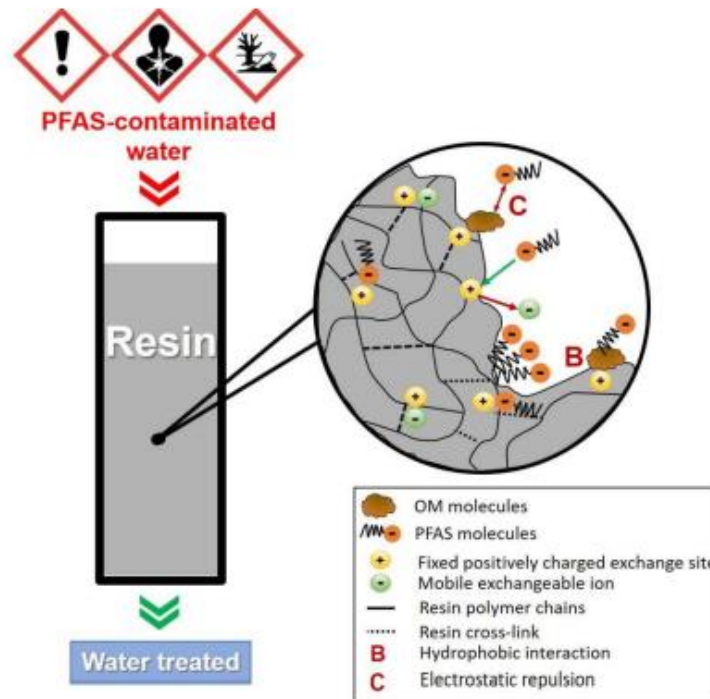
Los métodos de mitigación para reducir la presencia de PFAS en el ambiente son:

- Adsorción en carbón activado: el carbón activado granular (GAC) es uno de los métodos más comúnmente utilizado para eliminar PFAS del agua potable y de aguas residuales debido a su capacidad de adsorber compuestos orgánicos persistentes, pero su eficacia dependerá de la longitud de la cadena de los PFAS, es más efectivo con PFAS de cadena larga, (ej. **Figura 11**) (Rahman et al., 2014).



**Figura 11.** Interacciones entre la materia orgánica (OM) y los PFAS durante el proceso de adsorción con GAC (Gangliano et al., 2020).

- Resinas de intercambio iónico: han demostrado ser efectivas para la eliminación de PFAS en agua, su función es atrapar a los PFAS a través de interacciones iónicas siendo particularmente útiles en la remoción de PFAS de cadena corta, (ej. **Figura 12**) (Gangliano et al., 2020).



**Figura 12.** Interacciones entre la materia orgánica (OM) y los PFAS durante el proceso de intercambio iónico (Gangliano et al., 2020).

Si bien estos métodos son eficaces para la extracción de PFAS no lo hacen en su totalidad por lo que todavía quedan residuos de estos en el agua.

A su vez, no se han hallado métodos para la mitigación de PFAS en el aire, suelo u otro tipo de productos.

## 2.6 Regulación Nacional e Internacional

En el marco nacional, en Argentina, existe la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos que establece un marco para la gestión de estos, pudiendo incluir compuestos químicos similares como los PFAS, pero no los menciona específicamente. Estos residuos deben ser gestionados de manera que se minimice el impacto ambiental y en la salud pública. Esta Ley fue sancionada en 1991 y publicada en el Boletín Nacional en 1992.

En el marco internacional existen más regulaciones actualizadas respecto a los PFAS:

- Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP): este tratado internacional, en el que Argentina forma parte desde 2004 a través de la Ley 26.011, busca eliminar o reducir la liberación de compuestos orgánicos persistentes, si bien los PFAS no son parte de esta lista su inclusión se está considerando debido a sus propiedades persistentes y tóxicas (Ministerio del Interior, 2023).
- Unión Europea: ha implementados varias regulaciones para restringir el uso de ciertos PFAS. La legislación Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas (REACH) está en proceso de evaluar los PFAS para su posible restricción. En el 2020, la Agencia Europea de Sustancia Químicas (ECHA) lanzo un proyecto para restringir ciertos PFAS en productos (European Chemicals Agency, 2023).
- Estados Unidos: la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha propuesto nuevos estándares de calidad para el agua potable y ha desarrollado estrategias para abordar la contaminación por PFAS en el medio ambiente (European Chemicals Agency, 2023).

Por lo que podemos ver que tanto en el marco nacional en la mayoría del internacional no hay regulaciones o normativas claras para los PFAS, aunque la atención sobre estos este en aumento.

### **3. DISCUSIÓN:**

El análisis de los PFAS subraya la gran complejidad en su gestión debido a sus propiedades químicas únicas, que les otorgan una alta estabilidad y resistencia a la degradación tanto en el ambiente como en organismos vivos. Estos compuestos se han utilizado ampliamente en la industria y en productos de consumo por sus propiedades de repelencia al agua y al aceite, lo cual ha resultado en una contaminación global que afecta tanto a los ecosistemas como a la salud humana.

La exposición a PFAS ocurre a través del consumo de agua y alimentos contaminados, la inhalación de aire y polvo, y el uso de productos cotidianos. Como resultado, estudios han demostrado la presencia de estos compuestos en la sangre de personas de todo el mundo, relacionándose con efectos adversos en la salud como cáncer, alteraciones hormonales, problemas de desarrollo y reproducción, afectaciones hepáticas y del sistema inmunológico.

A nivel ambiental, los PFAS tienen la capacidad de bioacumularse en la cadena alimentaria y de transportarse entre diferentes medios (agua, suelo, aire), generando así riesgos tanto para la biodiversidad como para la sostenibilidad de los ecosistemas. Dado que estas sustancias pueden persistir durante largos períodos, representan una amenaza constante en zonas contaminadas, lo que plantea un desafío significativo para su gestión y remediación. Las metodologías de detección actuales, tales como la LC-MS y otras técnicas de alta sensibilidad, permiten la detección de estos compuestos a concentraciones extremadamente bajas. Sin embargo, estos métodos son costosos y no siempre están disponibles en países en desarrollo, lo cual limita su implementación y dificulta un monitoreo eficaz.

A nivel internacional, las regulaciones sobre los PFAS son inconsistentes. Si bien algunos países, como Estados Unidos y los de la Unión Europea, han desarrollado regulaciones estrictas para ciertos tipos de PFAS, muchos otros carecen de normativas específicas que limiten su uso y exposición como lo es el caso de Argentina. Las políticas actuales reflejan también el impacto de factores económicos y la influencia de la industria, lo que ha ralentizado la adopción de regulaciones más estrictas en algunos lugares. Esta variabilidad normativa, junto con los desafíos tecnológicos y económicos, indica la necesidad de un enfoque más

coordinado y de regulaciones globales más uniformes para reducir efectivamente la presencia de PFAS en el ambiente y proteger la salud pública.

#### **4. CONCLUSIÓN:**

El presente estudio demuestra que los PFAS representan un importante desafío para la salud humana y el ambiente debido a su alta persistencia y toxicidad. La continua exposición a estos compuestos, derivada de su presencia en una gran variedad de productos y su capacidad de bioacumulación, aumenta los riesgos para la salud y los ecosistemas. Los efectos adversos de los PFAS, como el aumento en el riesgo de cáncer, los problemas inmunológicos y hormonales, y el daño al hígado y al desarrollo, resaltan la necesidad urgente de implementar medidas efectivas para su regulación y eliminación.

Para reducir el impacto de los PFAS, es crucial avanzar en el desarrollo de tecnologías de detección y eliminación más accesibles, así como en la adopción de regulaciones internacionales armonizadas. Estas regulaciones deben abordar tanto la limitación de su uso en productos de consumo como el establecimiento de estándares de calidad para el agua y el suelo, protegiendo así tanto la salud pública como el equilibrio ecológico. En este sentido, es indispensable que los gobiernos y las organizaciones internacionales colaboren para cerrar las brechas existentes en la regulación de los PFAS, promoviendo una gestión global de estos contaminantes que sea más efectiva y segura. Asimismo, se deben fomentar investigaciones futuras sobre alternativas menos tóxicas y biodegradables, para que la industria pueda reemplazar los PFAS sin comprometer sus estándares de calidad.

## 5. BIBLIOGRAFÍA:

- Abunada, Alazaiza, Bashir. (2020). An Overview of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in the Environment: Source, Fate, Risk and Regulations. *Water*. <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/12/3590> (Disponible en línea, octubre de 2024).
- Bell, Guise, McCutcheon. (2021). Exposure, health effects, sensing, and remediation of the emerging PFAS contaminants – Scientific challenges and potential research directions. *Science of the Total Environment*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721014674> (Disponible en línea, octubre de 2024).
- Brusseau, Anderson, Gou. (2020). PFAS concentrations in soils: Background levels versus contaminated sites. *Science of the Total Environment*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720335373> (Disponible en línea, octubre de 2024).
- Buck, Franklin, Berger, Conder, Cousins, Voogt (2011). *Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. Integrated Environmental Assessment and Management*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21793199/> (Disponible en línea, octubre 2024).
- Camacho (2018). *Espectrometría de masas (MS); fundamento y equipos*. <https://blog.analitek.com/espectrometria-de-masas-ms-fundamento-y-equipos-0-1> (Disponible en línea, octubre 2024).
- Cayman Chemical (2022). *PFAS: Dilution is Not the Solution*. <https://www.caymanchem.com/news/pfas-dilution-is-not-the-solution> (Disponible en línea, octubre 2024).
- Cousins, Vestergren, Wang (2016). *The precautionary principle and chemicals management: The example of perfluoroalkyl acids in groundwater*. *Environment International*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27337597/> (Disponible en línea, octubre 2024).
- Digicomply Insights (2020). *Latest Insights Relating to PFAS in Food Packaging Materials*. <https://www.digicomply.com/blog/latest-insights-relating-to-pfas-in-food-and-packaging-materials> (Disponible en línea, octubre 2024).

- ECHA (2023). ECHA publishes PFAS restriction proposal. <https://echa.europa.eu/es/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal> (Disponible en línea, octubre 2024).
- Ministerio del Interior. (2023). *Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes*. Argentina.gov.ar. <https://www.argentina.gov.ar/interior/ambiente/control/acuerdos/estocolmo> (Disponible en línea, octubre 2024).
- Gangliano, Sgroi, Falciglia, Vagliasindi, Roccaro (2020). *Removal of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) from water by adsorption: Role of PFAS chain length, effect of organic matter and challenges in adsorbent regeneration*. Water Research. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135419311558> (Disponible en línea, octubre 2024).
- Jahnke, Berger (2009). *Trace analysis of per- and polyfluorinated alkyl substances in various matrices ¿How do current methods perform?* Journal of Chromatography A. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18817914/> (Disponible en línea, octubre 2024).
- Kailasam (2024). *LC-MS – What Is LC-MS, LC-MS Analysis and LC-MS/MS*. <https://www.technologynetworks.com/analysis/articles/lc-ms-what-is-lc-ms-lc-ms-analysis-and-lc-msms-348238> (Disponible en línea, octubre 2024).
- Lenntech. *Sustancias alquiladas poli o perfluoradas (PFAS)*. <https://www.lenntech.es/processes/pfas.htm> (Disponible en línea, octubre 2024).
- Pan, Zhang, Cui, Sheng, Gou, Sun (2017). *First Report on the Occurrence and Bioaccumulation of Hexafluoropropylene Oxide Trimer Acid: An Emerging Concern*. Environmental Science and Technology. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28780851/> (Disponible en línea, octubre 2024).
- Panieri, Baralic, Djukic-Cosic, Djordjevic, Saso. (2022). *PFAS Molecules: A Major Concern for the Human Health and the Environment*. Toxics. <https://www.mdpi.com/2305-6304/10/2/44#metrics> (Disponible en línea, octubre de 2024).
- Pelch, Reade, Wolffe. (2019). *PFAS health effects database: Protocol for a systematic evidence map*. Environment International.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019305380> (Disponible en línea, octubre de 2024).

- Podder, Sadmani, Reinhart, Chang, Goel. (2021). Per and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) as a contaminant of emerging concern in surface water: A transboundary review of their occurrences and toxicity effects. *Journal of Hazardous Material*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030438942101325X> (Disponible en línea, octubre de 2024).

- Rahman, Peldszus, Anderson (2014). *Behaviour and fate of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water treatment: A review*. *Water Research*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135413008518>

(Disponible en línea, octubre 2024).

- Reinoso, Serrano, Orellana. (2017). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas Universidad de Cuenca*. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30096/1/07%20Contaminantes%20Emergentes%2055-59%20%281%29.pdf> (Disponible en línea octubre, 2024).

- Turner (2024). *GC-MS Principle, Instrument and Analyses and GC-MS/MS*. <https://www.technologynetworks.com/analysis/articles/gc-ms-principle-instrument-and-analyses-and-gc-msms-362513> (Disponible en línea, octubre 2024).

- Wen-Long; Kannan (2024). *Determination of Legacy and Emerging Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Indoor and Outdoor Air*. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsestair.4c00095?goto=supporting-info> (Disponible en línea, octubre 2024).

- Wong, Black, Young, Nieto (s/F). *Application Note Environmental Authors Accurate Mass Library for PFAS Analysis in Environmental Samples and Workflow for Identification of Pollutants in Drinking Water Using GC/Q-TOF*. <https://www.agilent.com/cs/library/applications/an-personal-compound-database-library-pcdl-pfas-5994-6966en-agilent.pdf> (Disponible en línea, octubre 2024).