

Distr. general
31 de octubre de 2019

Español
Original: inglés



**Convenio de Estocolmo
sobre Contaminantes
Orgánicos Persistentes**

**Comité de Examen de los Contaminantes
Orgánicos Persistentes**

15ª reunión

Roma, 1 a 4 de octubre de 2019

**Informe del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos
Persistentes sobre la labor realizada en su 15ª reunión**

Adición

**Evaluación de la gestión de los riesgos sobre el ácido
perfluorohexano sulfónico (PFHxS), sus sales y los compuestos
conexos del PFHxS**

En su 15ª reunión, el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes, en su decisión POPRC-15/1, aprobó la evaluación de la gestión de los riesgos sobre el ácido perfluorohexano sulfónico (PFHxS), sus sales y los compuestos conexos del PFHxS sobre la base del proyecto que figuraba en la nota de la Secretaría (UNEP/POPS/POPRC.15/2), revisada durante la reunión. El texto de la evaluación de la gestión de los riesgos, tal como fue aprobado, figura en el anexo de la presente adición. El texto no ha sido objeto de revisión editorial oficial.

Anexo

Ácido perfluorohexano sulfónico (PFHxS), sus sales y los compuestos conexos del PFHxS

EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE LOS RIESGOS

Octubre de 2019

Índice

1.	Introducción.....	5
1.1	Identidad química del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS.....	5
1.2	Conclusiones del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes en relación con la información solicitada en el anexo E.....	6
1.3	Fuentes de datos.....	7
1.4	Situación del producto químico en los convenios y organizaciones internacionales.....	7
1.5	Gestión de los riesgos a nivel nacional y regional.....	7
2.	Resumen de la información relativa a la evaluación de la gestión de los riesgos.....	10
2.1	Definición de las medidas de control que pueden adoptarse.....	13
2.2	Eficacia y eficiencia de las medidas de control que pueden adoptarse para cumplir las metas de reducción de los riesgos.....	14
2.2.1	Viabilidad técnica.....	15
2.2.2	Costos y beneficios de la aplicación de medidas de control.....	15
2.3	Información sobre alternativas (productos y procesos), si procede.....	16
2.3.1	Sustancias alternativas para aplicaciones específicas.....	16
2.3.1.1	Espumas ignífugas fluoradas.....	17
2.3.1.2	Recubrimiento metálico.....	20
2.3.1.3	Textiles, incluidos el cuero y la tapicería.....	21
2.3.2	Otros usos.....	23
2.4	Resumen de la información sobre los efectos sociales de las medidas de control que pueden aplicarse.....	23
2.4.1	Salud, que incluye la salud pública, ambiental y laboral.....	23
2.4.2	Agricultura, incluidas la acuicultura y la silvicultura.....	25
2.4.3	Aspectos económicos y costos sociales.....	25
2.4.4	Avances hacia el desarrollo sostenible.....	28
2.5	Otras consideraciones.....	28
2.5.1	Acceso a la información y educación del público.....	28
2.5.2	Estado de la capacidad de control y vigilancia.....	29
3.	Síntesis de la información.....	29
3.1	Resumen de la información sobre el perfil de riesgo.....	29
3.2	Resumen de la información sobre la evaluación de la gestión de los riesgos.....	30
3.3	Medidas de gestión de los riesgos recomendadas.....	31
4.	Conclusión.....	31
	Referencias.....	32

Resumen

1. En mayo de 2017 Noruega presentó una propuesta de inclusión del ácido perfluorohexano sulfónico (PFHxS), sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en los anexos A, B o C del Convenio de Estocolmo. El Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (POPRC), en su 13ª reunión, celebrada en octubre de 2017, examinó la propuesta (UNEP/POPS/POPRC.13/4), aprobó la decisión POPRC-13/3 y decidió establecer un grupo de trabajo entre reuniones para que preparase un proyecto de perfil de riesgo del PFHxS, sus sales y los compuestos relacionados con el PFHxS a fin de examinarlo en su 14ª reunión, prevista para septiembre de 2018. El Comité aprobó el perfil de riesgo (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) y estableció un grupo de trabajo entre reuniones encargado de preparar una evaluación de la gestión de los riesgos en la que se analizaran las medidas de control que podrían adoptarse en relación con el PFHxS, de conformidad con el anexo F del Convenio, para examinarla en su 15ª reunión.

2. Las sustancias comprendidas en la presente evaluación de la gestión de los riesgos son el PFHxS (núm. de CAS: 355-46-4), sus sales y los compuestos conexos del PFHxS, definidos como toda sustancia que contenga, entre sus elementos estructurales, la fracción química $C_6F_{13}SO_2$ y que pueda degradarse a PFHxS.

3. El principal productor de estas sustancias era 3M, empresa que dejó de producir los ácidos perfluoroalquilsulfónicos (PFSA) de C_6 , C_8 y C_{10} en 2002. No hay mucha información sobre la fabricación mundial de PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en la actualidad. Se han localizado algunos productores en China, pero los datos cuantitativos sobre su producción no están a disposición del público. En algunos inventarios nacionales de productos químicos figuran el PFHxS, sus sales y muchos compuestos conexos del PFHxS, lo cual es un indicio evidente de producción, importación o uso, bien en el pasado o en la actualidad, de productos que contienen esas sustancias.

4. El PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos se han usado de forma intencional al menos en las aplicaciones siguientes: 1) espumas formadoras de película acuosa (EFPA) para extinción de incendios; 2) recubrimiento metálico; 3) productos textiles, cuero y tapicería; 4) abrillantadores y productos de limpieza y lavado; 5) revestimientos, impregnación y protección (contra la humedad, los hongos, etc.); y 6) en la fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores. Además, otras categorías de uso posibles son los plaguicidas, los pirorretardantes, papel y envases, la industria del petróleo y los fluidos hidráulicos. El PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos se han usado en determinados productos de consumo a base de sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS). Se produce y se ha producido PFHxS de manera no intencional durante procesos de fluoración electroquímica (FEQ) de otras PFAS. En muchas aplicaciones se ha usado PFHxS en sustitución del ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS).

5. La escasa información disponible sobre los usos del PFHxS y sus compuestos conexos indica que son similares a los del PFOS y el ácido perfluorooctanoico (PFOA). La evaluación de las alternativas al PFOS, sus sales, al fluoruro de perfluorooctano sulfonilo (PFOSF) y al PFOA indica que hay alternativas viables desde el punto de vista técnico para todas las aplicaciones, que ya se están usando. Además, durante el proceso de evaluación llevado a cabo por el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes no se presentó ninguna solicitud de exención para el PFHxS, sus sales o compuestos conexos, lo que indica que es viable el cambio a alternativas químicas y soluciones técnicas no químicas.

6. Algunas de las actividades a nivel mundial que lleva a cabo el Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional (SAICM) se centran en la recopilación y el intercambio de información sobre los productos químicos perfluorados y en el apoyo a la transición hacia alternativas más seguras. En los Estados Unidos (EE.UU.) se han realizado actividades voluntarias para eliminar las PFAS de cadena larga y sus compuestos afines (como el PFHxS). En 2017, la Unión Europea (UE) catalogó al PFHxS y sus sales como sustancias extremadamente preocupantes y las incluyó en la lista de sustancias candidatas del Reglamento relativo al registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH). En 2018 se inició un proceso de restricción en la UE.

7. En todas las etapas del ciclo de vida del PFHxS se producen emisiones al medio ambiente, aunque se supone que son las máximas ocurren durante su vida útil y al convertirse en desecho. No obstante, también se ha demostrado que se producen liberaciones abundantes de PFHxS en las plantas de producción.

8. A la luz de los conocimientos actuales, cabe esperar que la industria pueda sustituir el PFHxS, sus sales y los compuestos relacionados con el PFHxS sin incurrir en costos socioeconómicos importantes. Además, dados los considerables beneficios que previsiblemente se obtendrán de la reducción de los costos de la mitigación y la descontaminación, se espera que, en conjunto, la prohibición o restricción del uso del PFHxS genere más beneficios que costos. Según estimaciones, será muy costoso rehabilitar los aeropuertos y centros de adiestramiento en la manipulación de las espumas ignífugas y los vertederos de desechos (en especial los que reciben desechos industriales y peligrosos), así como extraer las PFAS (incluido el PFHxS) del agua potable y de las fuentes de agua próximas a esos lugares. La aplicación de medidas de control del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS contribuiría a evitar esos costos en el futuro.

9. Cabe esperar que la eliminación a nivel mundial del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS surta efectos positivos en la salud humana y el medio ambiente. Por tanto, la medida de control más eficaz sería incluir esas sustancias en el anexo A del Convenio sin exención alguna para su producción y uso.

1. Introducción

1.1 Identidad química del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS

10. La identidad química del PFHxS se describe en el perfil de riesgo (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) y concuerda con la decisión adoptada en la 13ª reunión del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (decisión POPRC-13/3). Su identidad química es la siguiente:

- El ácido perfluorohexano sulfónico (núm. de CAS: 355-46-4, PFHxS);
- Toda sustancia que contenga la fracción química $C_6F_{13}SO_2^-$ entre sus elementos estructurales y que pueda degradarse a PFHxS.

11. En el grupo del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS se incluyen algunos productos químicos, entre ellos, isómeros lineales y ramificados. La OCDE ha confeccionado una nueva lista de sustancias perfluoradas y polifluoradas que contiene hasta 4.730 productos químicos, entre ellos sustancias conexas, precursores y derivados poliméricos del PFHxS ([http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV-JM-MONO\(2018\)7&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV-JM-MONO(2018)7&doclanguage=en)). Además, la restricción propuesta en el marco del REACH contiene 147 compuestos conexos del PFHxS (ECHA 2019b). Esta lista no exhaustiva de 147 compuestos –PFHxS, sus sales y compuestos conexos, y mezclas y polímeros– se adjuntó a la carta que la Secretaría envió a las Partes y los observadores en septiembre de 2018 para pedirles la información solicitada en el anexo F y se elaboró a partir de la base de datos de las PFAS catalogadas por la OCDE y del apéndice II (Listas no exhaustivas de ácido perfluorohexano sulfónico y sus sustancias afines identificadas en el informe M-792 del Organismo Noruego para el Medio Ambiente) del anexo del documento UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4.

12. En el cuadro 1 que figura a continuación, se indica la identidad química del PFHxS y en el cuadro 2 se enumeran algunas propiedades fisicoquímicas de la sustancia obtenidas mediante modelos y experimentos.

Cuadro 1. Identidad química del PFHxS

Número de CAS:	355-46-4
Nombre en la UIQPA:	Ácido 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-tridecafluorohexano-1-sulfónico
Número CE:	206-587-1
Nombre CE:	Ácido perfluorohexano-1-sulfónico
Fórmula molecular:	$C_6F_{13}SO_3H$
Peso molecular:	400,11
Sinónimos:	PFHxS PFHS Ácido perfluorohexanosulfónico; Ácido 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-tridecafluorohexano-1-sulfónico; Ácido perfluorohexano-1-sulfónico; Ácido 1-hexanosulfónico, 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-tridecafluoro-; Ácido 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-tridecafluorohexano-1-sulfónico; Ácido tridecafluorohexanosulfónico
Nombres comerciales del PFHxS, sus sales y los compuestos relacionados con el PFHxS:	RM70 (núm. de CAS: 423-50-7), RM75 (núm. de CAS: 3871-99-6) y RM570 (núm. de CAS: 41997-13-1) (compuestos relacionados con el PFHxS producidos en el pasado por Miteni SpA [Italia]). FC-95: surfactante fluoroquímico de la marca Fluorad (núm. de CAS 3871-99-6) con contenido de PFHxS-K fabricado por 3M en el pasado.

Cuadro 2. Sinopsis de algunas propiedades fisicoquímicas importantes del PFHxS¹

Propiedad	Valor	Referencia
Estado físico a 20 °C y 101,3 kPa	Polvo blanco sólido en el caso del PFHxSK	Señalado en ECHA, 2017a (dato suministrado por la empresa)
Punto de fusión	320 K (41 °C)	Kim y otros, 2015
Punto de ebullición	238 °C a 239 °C	Kosswig, 2000 (calculado)
pK _a	-3,45 -3,3 ± 0,5 -5,8 ± 1,3	Wang y otros, 2011a (COSMOtherm) ACD/Percepta 14.2.0 (Classic) ACD/Percepta 14.2.0 (GALAS)
Presión de vapor	58,9 Pa (0,0046 mmHg)	Wang y otros, 2011a (COSMOtherm)*
Hidrosolubilidad	1,4 g/l (PFHxSK; 20 °C a 25 °C) 2,3 g/l (no disociado)	Campbell y otros, 2009 (calculado) Wang y otros, 2011a (COSMOtherm)*
Coefficiente de reparto aire-agua, K _{aw} (valor de log)	-2,38	Wang y otros, 2011a (COSMOtherm)*
Coefficiente de reparto <i>n</i> -octanol-agua, K _{ow} (valor de log)	5,17	Wang y otros, 2011a (COSMOtherm)*
Coefficiente de reparto octanol-aire, K _{oa} (valor de log)	7,55	Wang y otros, 2011a (COSMOtherm)*
Coefficiente de reparto carbono orgánico-agua, K _{oc} (valor de log) (movilidad)	2,05 2,40 2,31 (intervalo 1,8 a 2,76)	Guelfo y Higgins, 2013 (calculado) D'Agostino & Mabury, 2017 (calculado) Chen y otros, 2018 (sobre el terreno)

* Las estimaciones de Wang y otros (2011a) se refieren solamente a la forma neutra del PFHxS. Es importante tener en cuenta que, en condiciones ambientales, el PFHxS se presenta en su forma aniónica a causa de su baja pK_a. Por tanto, para describir el reparto de las formas neutra e ionizada del PFHxS en el medio ambiente hay que convertir los coeficientes estimados de reparto de la forma neutra a las tasas de distribución correspondientes, según se indica en Schwarzenbach y otros (2002) y en Wang y otros (2011a).

13. En la bibliografía especializada se describen métodos analíticos de detección de PFHxS que pueden servir para la cuantificación de PFHxS y PFAS en general en casi todos los medios ambientales (para más detalles, véase UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). Para el análisis en artículos y productos, si bien no existen métodos analíticos normalizados, en estos momentos se puede usar el método CEN/TS 15968, en el caso del PFOS presente en artículos sólidos revestidos e impregnados, líquidos y espumas ignífugas, para determinar los niveles de formas iónicas del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos. La norma ISO 23702-1: 2018 09 15 - Cuero - Flúor orgánico - Parte 1 describe la detección y cuantificación de sustancias extraíbles perfluoradas y polifluoradas, de tipo neutro, iónico o de cadena corta, mediana y larga, en el cuero o el cuero revestido; y la norma ISO 25101 describe el método analítico para el PFOA y el PFOS en el agua. También se ha emprendido la normalización internacional de 27 PFAS presentes en el agua (<https://www.anses.fr/en/system/files/EAUX2018SA0027EN.pdf>). En cuanto a los compuestos conexos del PFHxS neutrales y volátiles, Herzke y otros (2012) anunciaron que habían logrado detectar PFHxS y sus compuestos conexos con otros instrumentos analíticos (GC/PCI-MS). La falta de métodos normalizados para el PFHxS y de normas certificadas de análisis para los compuestos conexos constituye un obstáculo para la vigilancia de estos productos en el mercado. También faltan métodos normalizados para la detección de los distintos compuestos conexos del PFHxS por separado. No obstante, se comercializan métodos no normalizados para detectar concentraciones totales de precursores del PFHxS, como el flúor orgánico total extraíble o el precursor oxidizable total (por ejemplo, https://www.eurofins.se/media/1568225/top_precursor_short_facts_170613.pdf).

1.2 Conclusiones del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes en relación con la información solicitada en el anexo E

14. En mayo de 2017 Noruega presentó una propuesta de inclusión del ácido perfluorohexano sulfónico (PFHxS), sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en los anexos A, B o C del Convenio de Estocolmo. En su 13ª reunión, el Comité examinó la propuesta (UNEP/POPS/POPRC.13/4) y decidió establecer un grupo de trabajo entre reuniones encargado de preparar un proyecto de riesgo para el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS (decisión POPRC-13/3). En su 14ª reunión, el Comité aprobó el perfil de riesgo (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) y llegó a la conclusión de que el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS, en caso de transporte a larga distancia en el medio ambiente, probablemente tuviesen importantes efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente que justificasen la adopción de medidas a nivel mundial (decisión POPRC-14/1). El Comité estableció un grupo de trabajo entre reuniones encargado de preparar una evaluación de la gestión de los riesgos en la que se analizaran las medidas de control que cabría adoptar en relación con el PFHxS, de conformidad con el anexo F del Convenio, para examinarla en su 15ª reunión.

¹ Se refiere al PFHxS lineal.

1.3 Fuentes de datos

15. En la evaluación de la gestión de los riesgos se usó la información contenida en el perfil de riesgo (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) y la información presentada por las Partes y los observadores con arreglo a la solicitud del anexo F. Presentaron información las Partes y los observadores siguientes: Alemania, Canadá, India, Japón, el Reino Unido, la República de Corea, Suecia, la Imaging and Printing Association Europe (I&P Europe), la Red Internacional de Eliminación de los COP (IPEN) y la Alaska Community Action on Toxics (ACAT). Toda la información remitida con arreglo al anexo F puede consultarse en el sitio web del Convenio².

16. Se incluyó información especializada extraída de bases de datos científicos como la Web of Science del Instituto para la Información Científica y PubMed y otra información de dominio público, como informes gubernamentales, evaluaciones del riesgo y del peligro, fichas descriptivas de la industria, etc.

1.4 Situación del producto químico en los convenios y organizaciones internacionales

17. Las sustancias perfluoradas están catalogadas en el SAICM como cuestión preocupante. Las actividades desplegadas por el Enfoque Estratégico al respecto se centran en la recopilación y el intercambio de información sobre esos productos y en el apoyo a la transición hacia alternativas más seguras (<http://www.saicm.org/tabid/5478/Default.aspx>). La OCDE presentó una panorámica de los métodos que se aplican en diversos países para reducir los riesgos de las PFAS (OCDE, 2015). Según se desprende de las respuestas de los países participantes, la mayoría de los marcos regulatorios vigentes a nivel nacional o regional contemplan enfoques de reducción del riesgo de las PFAS, en especial las PFAS de cadena larga y sus sales y precursores. Esos enfoques varían según los países, pero suelen consistir en una combinación de mecanismos voluntarios y regulatorios.

1.5 Gestión de los riesgos a nivel nacional y regional

18. En 2017 la Unión Europea catalogó al PFHxS y sus sales como sustancias extremadamente preocupantes y lo añadió a la lista de sustancias candidatas del REACH por sus propiedades de persistencia y bioacumulación (ECHA, 2017a). El PFHxS cumplía los criterios de las sustancias muy persistentes y muy bioacumulativas. No se evaluó la toxicidad ni la ecotoxicidad. La identificación de esa sustancia como muy persistente y muy bioacumulativa significa que los fabricantes, los importadores y la cadena de suministro deben reducir al mínimo las emisiones de las sustancias y la exposición del medio ambiente y los seres humanos a ellas, en todo su ciclo de vida, con independencia de otras regulaciones que puedan introducirse en materia de gestión de los riesgos. Con la inclusión en la lista de sustancias candidatas se hace efectivo el deber que incumbe a los proveedores, según el artículo 33 del Reglamento REACH, de notificar las concentraciones de PFHxS superiores al 0,1 % en un artículo (información presentada por Alemania con arreglo al anexo F). A modo de seguimiento, Noruega ha presentado, con fecha de 12 de abril de 2019, una propuesta de enmienda del anexo XVII del REACH para restringir la fabricación, el uso y la comercialización del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos (ECHA, 2019 a,b).

19. Algunas sustancias conexas del PFHxS (pero no el PFHxS propiamente dicho) figuran en la Lista Nacional de Sustancias del Canadá (DSL) (Ministerio de Medio Ambiente de Canadá, 2013), inventario de sustancias que son o han sido fabricadas o comercializadas en el Canadá, importadas a ese país o usadas en él. Todo aquel que tenga la intención de importar al Canadá, o fabricar en ese país, una sustancia que no esté incluida en la DSL (como el PFHxS, el PFHxSF o un compuesto conexo del PFHxS que aún no figure en la DSL) deberá presentar la notificación que se exige en el Reglamento de Notificación de Sustancias Nuevas. La finalidad de esta normativa es garantizar que no se introduzca esa nueva sustancia en el mercado sin que se haya hecho una evaluación previa de sus efectos en el medio ambiente y la salud humana. Con arreglo a este procedimiento se podrán aplicar medidas de gestión orientadas a mitigar los riesgos para el medio ambiente o la salud humana. En los Estados Unidos está prohibido destinar las sustancias de este grupo a usos nuevos sin la evaluación previa del nuevo uso por parte de la Agencia de Protección Ambiental de ese país (Gobierno de los Estados Unidos, 2002; 2007). En 2009 la Agencia publicó un plan de acción sobre las PFAS de cadena larga (definidas como PFSA > C₅ y los ácidos carboxílicos perfluorados (PFCAs) > C₇), que incluyen al PFHxS y sus sales y precursores. Se determinó que todas las PFAS de cadena larga tenían potencial de ser persistentes, bioacumulativas y tóxicas (Agencia, 2009). La Agencia publicó en febrero de 2019 un Plan de acción sobre las PFAS más amplio, en que se explican las medidas adicionales que está adoptando el organismo para tener un conocimiento mayor y mejorar la gestión de las PFAS, en particular el PFHxS (Agencia, 2019). El Estado de Washington aprobó recientemente un proyecto de ley por el que se prohíbe el uso de sustancias perfluoradas en los envases de alimentos (<https://www.foodpackagingforum.org/news/washington-state-bans-pfass-in-food-packaging>), y se restringe su uso en las espumas ignífugas y el equipo de protección personal (<https://ecology.wa.gov/Waste-Toxics/Reducing-toxic-chemicals/Addressing-priority-toxic-chemicals/PFAS/Toxics-in-firefighting>).

² <http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Meetings/POPRC14/POPRC14Followup/PFHxSInfoSubmission/tabid/7826/Default.aspx>.

20. En Australia, el Sistema Nacional de Notificación y Evaluación de Productos Químicos Industriales (NICNAS) ha elaborado un plan de acción para la evaluación y gestión de las sustancias susceptibles de convertirse por degradación a PFCA, PFSA y productos similares. La premisa fundamental de ese plan de acción es que los productos químicos que contienen una cadena perfluorada que termina con un grupo sulfonilo se degradarán a sulfonato de perfluoroalquilo (de la misma longitud de cadena) (NICNAS, 2017, a, b, c y d).
21. No existe ninguna clasificación ni etiquetado armonizados para el PFHxS en la UE ni a nivel mundial. En Australia, en cambio, los compuestos conexos del PFHxS figuran en el contexto de la Evaluación y Priorización de Múltiples Niveles del Inventario, sistema que incluye evaluaciones de los efectos en la salud humana y el medio ambiente (NICNAS, 2017c). Tomando como base el plan de acción del NICNAS para la evaluación y gestión de los productos químicos que pueden degradarse a ácidos carboxílicos perfluorados, sulfonatos de perfluoroalquilo y sustancias análogas, en los casos en que no se dispuso de datos químicos específicos, se recurrió a la información sobre los peligros del PFOS para calcular los peligros para la salud sistémica que entrañan la sal de potasio del PFHxS, la sal de amonio del PFHxS, la sal de dietanolamonio del PFHxS y el PFHxSF. En cuanto a los riesgos para la salud humana, la sal de potasio del PFHxS, la sal de amonio del PFHxS, la sal de dietanolamonio del PFHxS y el PFHxSF se encuadraron en las categorías siguientes del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos: tóxico por ingestión - Cat. 3 (H301); causa irritación ocular grave - Cat. 2A (H319); causa daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas en caso de ingestión - Cat. 1 (H372); se sospecha que causa cáncer - Cat. 2 (H351). En cuanto a los riesgos ambientales, esas sustancias se catalogaron como acuáticas crónicas - Cat. 4 (H413) (NICNAS 2017a). En la UE, la industria ha presentado “autoclasificaciones” relativas al PFHxS y varios compuestos conexos del PFHxS por medio de notificaciones dirigidas al inventario de clasificación y etiquetado, de conformidad con la legislación de la Unión Europea, en concreto las de toxicidad aguda, categoría 4 (H302, nocivo por ingestión; H312, nocivo en contacto con la piel; y H332, nocivo por inhalación) o corrosión cutánea, categoría 1B (H314, causa graves quemaduras en la piel y daños oculares) (<https://echa.europa.eu/sv/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/notification-details/10265/1400492>). En cuanto a los riesgos para la salud humana, se usó el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos para clasificar a la sal de potasio del PFHxS, la sal de amonio del PFHxS, la sal de dietanolamonio del PFHxS y el PFHxSF como sustancias tóxicas por ingestión en la Cat. 3 (H301); causantes de irritación ocular grave en la Cat. 2A (H319); causantes de daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas en caso de ingestión en la Cat. 1 (H372); sospechas de causar cáncer en la Cat. 2 (H351). En cuanto a los riesgos para el medio ambiente, esas sustancias se catalogaron como acuáticas crónicas en la Cat. 4 (H413) (NICNAS 2017a). En la UE, la industria ha presentado “autoclasificaciones” relativas al PFHxS y varios compuestos conexos del PFHxS por medio de notificaciones dirigidas al inventario de clasificación y etiquetado, de conformidad con la legislación de la Unión Europea, en concreto las de toxicidad aguda, categoría 4 (H302, nocivo por ingestión; H312, nocivo en contacto con la piel; y H332, nocivo por inhalación) o corrosión cutánea, categoría 1B (H314, causa graves quemaduras en la piel y daños oculares) (<https://echa.europa.eu/sv/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/notification-details/10265/1400492>).
22. Australia también ha catalogado 26 emplazamientos militares de alta prioridad, donde las aguas subterráneas están contaminadas con PFAS, en particular PFHx (<http://www.defence.gov.au/Environment/PFAS/Publications/Default.asp>). En el caso del PFOS y el PFHxS, Australia ha establecido valores orientativos basados en la salud, expresados en la forma de ingesta diaria tolerable (IDT) de 0,02 µg/kg de peso corporal/día (combinada), mientras que en el caso del PFOA, la IDT es de 0,16 µg/kg de peso corporal/día. Estos valores son útiles a la hora de investigar sitios contaminados y realizar evaluaciones de los riesgos para la salud humana (Gob. de Australia, 2019).
23. En Noruega, el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS se han añadido en fecha reciente a la lista nacional de sustancias prioritarias (Prioritetslista <http://www.miljostatus.no/prioritetslisten>) con el objetivo de eliminar su uso en el país para 2020.
24. En febrero de 2020 será por primera vez obligatorio presentar información sobre las PFAS, incluido el PFHxS, al Registro de Productos del Organismo Sueco de Productos Químicos. Esta obligación regirá con independencia de la concentración de las sustancias, aunque no será necesario especificar la concentración propiamente dicha (KemI, 2018).
25. El Organismo Sueco de Productos Químicos ha publicado una estrategia de reducción del uso de PFAS (KemI, 2016, 2018b). Es preciso reducir al mínimo y, a la larga, discontinuar el uso de las aplicaciones de PFAS que puedan contaminar el medio ambiente. Una forma de lograr ese objetivo es priorizar la aplicación de medidas destinadas a frenar los usos que puedan dar lugar a liberaciones directas abundantes al medio ambiente. En la estrategia se proponen criterios sobre cómo pueden usarse las espumas ignífugas a base de PFAS en el país y se llega a la conclusión de que es necesario que la legislación sueca regule el uso de las espumas ignífugas que contengan sustancias muy fluoradas.
26. En 2014 el Organismo Danés de Protección Ambiental publicó un estudio sobre la contaminación de las aguas subterráneas causada por fuentes puntuales de sustancias perfluoroalquiladas, entre ellas el PFHxS y sus compuestos conexos. Tras comprobarse la contaminación de las aguas subterráneas, se encargó un estudio para evaluar y proponer

criterios de calidad basados en la salud. El estudio permitió establecer un valor límite total para la presencia en el agua potable de 12 PFAS (ácido perfluorobutano sulfónico (PFBS), PFHxS, PFOS, perfluorooctanosulfonamida (PFOSA), ácido 6:2 fluorotelomerosulfónico (6:2 FTS), ácido perfluorobutanoico (PFBA), ácido perfluoropentanoico (PFPeA), ácido perfluorohexanoico (PFHxA), ácido perfluoroheptanoico (PFHpA), PFOA, ácido perfluorononanoico (PFNA) y ácido perfluorodecanoico (PFDA)). Ese valor límite es de 0,1 µg/l en el agua potable para la suma de las 12 PFAS (Dinamarca, 2018). El mismo valor límite total es válido para las aguas subterráneas. El Organismo Nacional de Alimentación de Suecia ha recomendado unos valores límite de 0,09 µg/l para el agua potable basado en la presencia de un total de 11 PFAS (PFBS, PFHxS, PFOS, 6:2 FTSA, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA y PFDA) (Suecia, 2018). En la propuesta de una nueva Directiva europea del agua potable, que es objeto de examen en la actualidad, se propone un valor límite para el grupo de PFAS. Se han propuesto valores de 0,1 µg/l para cada PFAS por separado y 0,5 µg/l para la suma de sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (fórmula química: $C_nF_{2n+1}-R$) (Europa, 2018). Los Consorcios del Agua y del Suelo del Gobierno de Alemania han compilado “umbrales de importancia” para evaluar las aguas subterráneas contaminadas con PFAS (van der Trenck y otros, 2018). Estos umbrales sirven de criterio para decidir si procede adoptar medidas para sanear las aguas subterráneas contaminadas. En el caso del PFHxS se fijó un umbral de 0,1 µg/l. En 2017 la “Trinkwasserkommission” (Comisión del agua potable) de Alemania propuso un valor orientativo de 0,1 µg de PFHxS por litro de agua potable (Trinkwasserkommission, 2017).

27. Varios Estados de los Estados Unidos han fijado en el agua potable, en particular al PFHxS. El Estado de Massachussets recomienda un límite de 0,07 µg/l para el PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA y PFHpA en el agua potable combinados o por separado (Gov. de Mass.), el Departamento de Salud de Minnesota (MDH) recomienda un valor orientativo de 0,027 µg/l para el PFHxS y el Estado de Vermont (Estados Unidos) recomienda un límite de 0,02 µg/l para la suma de PFOA, PFOS, PFHxS, PFHpA y PFNA en el agua potable (Health Vermont). New Hampshire también ha propuesto un límite en el agua potable de 0,018 µg/l, y Michigan tiene niveles de detección en el agua potable para el PFHxS de 0,084 µg/l (<https://www4.des.state.nh.us/nh-pfas-investigation/?p=1044>, https://www.michigan.gov/documents/pfasresponse/Health-Based_Drinking_Water_Value_Recommendations_for_PFAS_in_Michigan_Report_659258_7.pdf). Además, el Ministerio de Salud del Canadá aplica un valor de selección en el agua potable de 0,6 µg/l para el PFHxS (Gobierno del Canadá, 2018).

28. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos usa una combinación de procedimientos reglamentarios y voluntarios, en concreto, la Norma sobre Nuevos Usos Importantes y el Programa de Gestión del PFOA 2010/2015 de carácter voluntario (OCDE, 2015). La Agencia estableció niveles recomendables para la salud con respecto a la presencia de PFOA y PFOS en el agua potable. Además, valiéndose de las autoridades establecidas en virtud de la Norma de vigilancia no regulada de los contaminantes de la Ley sobre agua potable libre de impurezas, la Agencia mantuvo bajo vigilancia a seis PFAS en el agua potable tratada, incluido el PFHxS para conocer su presencia en los sistemas de agua potable de los Estados Unidos. Estos datos sobre la presencia se pueden consultar en (<https://www.epa.gov/dwucmr/third-unregulated-contaminant-monitoring-rule>).

29. Por otra parte, en 2018, la República de Corea clasificó al PFHxS, junto con el PFOS y el PFOA, como parámetros preliminares de vigilancia de la calidad del agua potable. Los valores límites preliminares para el agua potable son 0,48 µg/l en el caso del PFHxS y 0,07 µg/l para la suma de PFOS y PFOA (información presentada por la República de Corea en respuesta a la solicitud del anexo F). En Australia, los valores orientativos fijados según criterios sanitarios en el caso del PFOS y el PFHxS se han fijado en 0,07 µg/l para el agua potable y 2,0 µg/l en aguas recreativas (Gobierno de Australia, 2019). El mismo valor para el agua potable se ha establecido como orientación provisional en Nueva Zelanda (<http://www.mfe.govt.nz/node/24415>).

30. El Gobierno de Dinamarca recomienda que no se utilicen PFAS ni compuestos organofluorados en la fabricación de papel y, en el caso de los materiales para envasar alimentos, ha establecido un límite aconsejable de 0,35 µg de compuesto organofluorado por decímetro cuadrado de papel (Dinamarca, 2015).

31. En los últimos tiempos se ha centrado la atención en lo que hay que hacer en el futuro en relación con las PFAS. Más de 200 científicos han firmado la “Declaración de Madrid”, en la que se pide la eliminación mundial de todas las PFAS (Blum y otros, 2015), y, por otra parte, se ha publicado la “Declaración de Zurich sobre medidas futuras en relación con las PFAS” (Ritscher y otros, 2018). La Declaración de Zurich, resultado de un taller celebrado en 2017, contiene un conjunto de recomendaciones para la evaluación y gestión de las PFAS en el futuro, que cuenta con el respaldo de un grupo de más de 50 científicos y legisladores de todo el mundo (Ritscher y otros, 2018). En el examen de los valores orientativos del PFOA y el PFOS en el agua potable, presentado en Cordner y otros (2019), se destaca la necesidad de establecer un valor límite para el contenido de PFAS como clase de producto químico (además de los distintos compuestos) de la misma manera que para los hidrocarburos aromáticos policíclicos y las dioxinas.

2. Resumen de la información relativa a la evaluación de la gestión de los riesgos

32. La presencia en el medio ambiente de PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos es consecuencia de actividades antropógenas (producción, uso y eliminación de desechos), ya que no son sustancias que se produzcan de forma natural. Como se señala en el perfil de riesgo y en las referencias de este, la labor de vigilancia ambiental demuestra que el PFHxS está muy extendido en el medio ambiente (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). En numerosos estudios se ha detectado PFHxS en compartimentos ambientales tan diversos como las aguas superficiales, el mar abierto, el agua potable, el efluente de plantas de tratamiento de aguas residuales, los sedimentos, las aguas subterráneas, los suelos, la atmósfera, el polvo y la biota y los seres humanos de todo el mundo (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). Junto con el PFOS, el PFOA y el PFNA, el PFHxS es una de las PFAS que se detectan con más frecuencia (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1 y referencias incluidas en el documento), con todo, sin embargo, la información sobre su producción y uso actuales es muy limitada. Hasta la fecha han sido muy pocos los estudios dedicados a estudiar concretamente las liberaciones de PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos al medio ambiente, de ahí que escasee la información cuantitativa al respecto.

33. Históricamente, el principal fabricante mundial de PFHxS, sus sales y compuestos conexos había sido 3M, que solo en 1997 produjo unas 227 toneladas de PFHxSF en los Estados Unidos (3M, 2000a). Entre 2000 y 2002 la empresa dejó de producir PFHxS, sus sales y compuestos conexos (3M, 2000a). Se tiene noticia de que algunos fabricantes de China e Italia (tras la quiebra de la empresa, la fábrica de Italia dejó de producir en noviembre de 2018) han producido PFHxS y sus precursores (Convenio de Estocolmo, 2012; Miteni, 2018; Pan y otros, 2019) como posibles sustitutos del PFOS y sus precursores (Löfstedt y otros, 2016; Huang y otros, 2015; Ma y otros, 2018; Zhou y otros, 2019). La información sobre la producción en China coincide exactamente con los datos ambientales, por ejemplo, con los niveles elevados de PFHxS registrados en lagos y ríos de Asia (Ma y otros, 2018; Pan y otros, 2018; Cui y otros, 2018). Por ejemplo, según un estudio de Ma y otros, (2018), el PFHxS era el compuesto de PFAS predominante en el lago Taihu y en sus aguas tributarias. Los niveles de PFHxS en el lago Taihu (45,9 a 351 ng/l) eran superiores a los del PFOS, fenómeno que se ha atribuido a la producción y el uso de PFHxS como alternativa debido a la reciente regulación de que ha sido objeto el PFOS en China (Ma y otros, 2018). El flujo total de PFAS en el lago ascendía a 1255 kg/año, cantidad a la que contribuían sobre todo el PFHxS (611 kg/año), el PFOS (227 kg/año), el PFOA (182 kg/año) y el PFHxA (84,4 kg/año). En otro estudio se constató un aumento de las concentraciones en algunos ríos y lagos cercanos (lagos Tai y Chao) de China. En 2016 la concentración estimada de PFHxS en esos ríos era de 21,6 toneladas, frente a las 0,09 toneladas registradas en 2013 (Pan y otros, 2018). Según un estudio reciente, la concentración media del PFHxS en dos ríos chinos (Fen y Wei), era sin lugar a dudas mayor que la del PFOS, quizá porque cada vez se fabrica más el PFHxS para usarlo como alternativa (Zhou y otros, 2019). De entre todas las PFAS, el PFHxS registró la tasa de descarga masiva más elevada en los dos ríos (116 y 37 kg al año). Además, se ha señalado que la proporción relativamente elevada de PFHxS en relación con PFOS podría deberse al uso del primero como sustituto del segundo en la fabricación de productos textiles, revestimiento de protección de alfombras y fluoropolímeros (Zhou y otros, 2019).

34. El PFHxS, sus sales o muchos compuestos conexos del PFHxS han sido incluidos en inventarios nacionales de productos químicos (Australia, el Canadá, China, los Estados Unidos, el Japón, Nueva Zelanda, los países nórdicos³ y la Unión Europea), indicio evidente de producción, importación o uso actual o en el pasado de productos que contienen esas sustancias (véase el perfil de riesgo en el documento UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). El PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos se han usado de forma intencional al menos en las aplicaciones siguientes: 1) EFPA para extinción de incendios; 2) recubrimiento metálico; 3) productos textiles, cuero y tapicería; 4) abrillantadores y productos de limpieza y lavado; 5) revestimientos, impregnación y protección (contra la humedad, los hongos, etc.); y 6) en la fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores. Además, otras categorías de uso podrían ser los plaguicidas, los pirorretardantes, el papel y los envases, la industria del petróleo y los fluidos hidráulicos (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1).

35. Pese a la falta de información sobre los usos de las categorías 4) y 5), hay indicios de que estos usos podrían estar relacionados con actividades de limpieza, abrillatado, sellado, revestimiento, etc. en los sectores de la construcción y del mantenimiento de automóviles. Según una información reciente de la República de Corea y otros estudios, en un pulverizador usado para el revestimiento de automóviles, fabricado en la Unión Europea e importado a la República de Corea, se ha revelado el uso de un polímero que contiene PFHxS (probablemente como componente no intencional de un polímero de PFOS, núm. de CAS: 127133-66-8) (RPA, 2019). En 2016 se informó de que entre 2013 y 2015, el país importó 20 toneladas del polímero que contenía el producto (información presentada por la República de Corea en respuesta a la solicitud del anexo F). Por otra parte, mientras se redactaba el perfil de riesgos del PFHxS, sus sales y compuestos conexos, se dio a conocer que un producto de sellado y acabado de suelos comercializado por una empresa norteamericana contenía un compuesto conexo del PFHxS, sin embargo, ese producto ya no está en el mercado (véase el perfil de riesgo UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). Hay indicios de que el

³ Noruega, Suecia, Dinamarca, Finlandia, Islandia, Groenlandia y las Islas Faroe.

aditivo de una solución para texturizar células fotovoltaicas contiene PFHxS, sus sales o compuestos conexos (se desconoce el núm. de CAS). Según la información presentada por la República de Corea en respuesta a la solicitud del anexo F, el súbito aumento de las concentraciones de PFHxS fue objeto de vigilancia en la planta de tratamiento y purificación del agua cercana a la planta donde se utilizó la solución para texturizar células fotovoltaicas. Desde 2012, la República de Corea ha vigilado 70 plantas de tratamiento y purificación de agua en todo el país para detectar la presencia de PFAS. En 2016, las concentraciones de PFHxS oscilaron entre 0,002 ug/l y 0,013 ug/l, pero en 2017 aumentaron repentinamente hasta 0,454 ug/l en la planta en las aguas del río Nakdong (información presentada por la República de Corea en respuesta a la solicitud del anexo F). Este aumento confirma la detección de PFHxS en muestras de agua del grifo procedente del mismo río en un estudio en el que se registraron las concentraciones más elevadas de PFHxS (de no detectado a 0,190 ng/l) (Park y otros, 2018). Tras la adopción de medidas correctivas, que incluyeron la sustitución en la planta de la solución para texturizar, las concentraciones de PFHxS se redujeron hasta los niveles registrados en años anteriores. La solución había sido importada al país y el país no produce PFHxS, sus sales ni compuestos conexos del PFHxS (información presentada por la República de Corea en respuesta a la solicitud del anexo F).

36. Por otra parte, en varias muestras de productos chinos sustitutivos del PFOS se han detectado concentraciones altas de PFHxS. Según el informe https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substitution-in-china.pdf (Huang y otros, 2015), “Estos productos se usan sobre todo en surfactantes de EFPA, por ejemplo, VF-230 (5.082 mg/l), VF-9126 (1.771 mg/l) y VF-9128 (583 mg/l)”. En realidad, el fabricante de esos productos para EFPA compró los surfactantes fluorocarbonados “sin PFOS” que usaba para fabricar EFPA a otros vendedores, que le garantizaron que los productos no contenían PFOS. No obstante, el contenido de PFHxS en esos productos pasó inadvertido y en el momento de la venta del producto, que se utilizó posteriormente en las EFPA (VF 230, VF-9126 y VF-9128), no se proporcionó información al respecto (https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substitution-in-china.pdf; Huang y otros, 2015).

37. El PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS no figuran en REACH, el reglamento europeo de productos químicos. Sin embargo, en vista de que en el inventario de clasificación, etiquetado y envasado relativas al grupo del PFHxS, sus sales y compuestos conexos del PFHxS de la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas⁴ se han registrado unas 68 notificaciones o autoclasificaciones, esa información indica que el uso de cada compuesto notificado de PFHxS, sus sales y compuestos conexos en Europa no llega a los 1.000 kg anuales. Ahora bien, en el REACH no se exige el registro ni la evaluación de los polímeros cuya longitud de cadena sea ≥ 3 (monómeros), lo que podría significar que existe una importante fuente adicional de liberaciones de PFHxS debidas al uso de polímeros que contienen compuestos conexos del PFHxS (bien como cadenas laterales o por presencia no intencional) en diversas aplicaciones. Los monómeros u otros compuestos no intencionales presentes en el polímero que superen el 2 % de peso por peso (p/p) o más, y cuya cantidad total represente una tonelada o más al año deben registrarse conforme al REACH (artículo 6 3)). No obstante, según la descripción que figura en el REACH (artículo 138 2)), está en marcha la revisión de las futuras medidas de control de los polímeros disponibles en el mercado. En la República de Corea se han notificado usos de este tipo (información presentada con arreglo al anexo F), en concreto el uso de polímeros que contienen compuestos relacionados con el PFHxS en pulverizadores para el revestimiento de automóviles.

38. Según la información presentada por el Reino Unido en respuesta a lo prescrito en el anexo F, una empresa de desechos a la que se había solicitado información explicó que se usa PFHxS, sus sales y compuestos conexos del PFHxS en productos textiles, protectores de alfombras, cuero, fabricación de papel, plaguicidas, galvanoplastia, espumas ignífugas, materiales fotosensibles y algunos materiales sintéticos. Las sustancias también están presentes en tintas de impresión y sellantes. Según esa información del Reino Unido, en el país no se usan ni fabrican esas sustancias en forma de materia prima, pero se considera que está presente en materiales de uso cotidiano (información presentada por el Reino Unido con arreglo al anexo F).

39. Por otro lado, cabe señalar que las autoridades competentes de Dinamarca, Noruega y Suecia han recibido información sobre los volúmenes y usos de PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos, aunque la mayor parte de estos datos se ha calificado de información comercial confidencial (SPIN, 2018; Organismo Noruego para el Medio Ambiente M-961/2018). En un reciente análisis de fuentes realizado en el litoral de la bahía china de Bohai quedó demostrada la presencia de PFHxS en formulaciones de fluido hidráulico, fábricas de EFPA, recubrimiento metálico, fabricación y procesamiento de fluoropolímeros y material de envasado de alimentos (Liu y otros, 2019). Además, se ha detectado PFHxS en varios productos de consumo como diversos tipos de textiles, incluidas tapicerías y alfombras, aparatos eléctricos y materiales de construcción (Becanova y otros, 2016)

40. La materia prima usada en la fabricación de PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos, el PFHxSF (núm. de CAS 423-50-7), puede comprarse a varios proveedores (https://www.lookchem.com/product_High-quality-Perfluorohexane-Sulphonyl-Fluoride/14315526.html) y destinarse, según la publicidad, a diversos usos: “Este producto es una de las materias primas esenciales para elaborar surfactantes con flúor. Los surfactantes con flúor pueden usarse en textiles, cuero, fabricación de papel, plaguicidas, galvanoplastia, explotaciones petrolíferas,

⁴ <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/cl-inventory-database>.

extinción de incendios, materiales fotosensibles, material sintético y otros ámbitos”. En China hay un total de seis fabricantes o proveedores (<https://www.lookchem.com/newsell/search.aspx?key=423-50-7&countryId=1&businessType=Manufacturers>, consultado el 1 de octubre de 2019) que, al parecer, son capaces de fabricar PFHxSF. Además, en la página web que se indica a continuación (<https://www.lookchem.com/newsell/search.aspx?p=1&key=355-46-4&ad=>, consultado el 1 de octubre de 2019) aparecen registrados algunos fabricantes o proveedores de PFHxS (núm. de CAS 355-46-4), indicio de que la sustancia tal vez se usa y puede adquirirse.

41. Durante la fluoración electroquímica, proceso empleado para producir fluoruro de perfluorooctano sulfonilo (PFOSF), puede generarse PFHxSF como subproducto no intencional (Gramstad y Haszeldine, 1957; Jiang y otros, 2015; 3M 2000b). A menos que los fabricantes lo eliminen del PFOSF, el PFHxSF permanecerá como contaminante y, mediante reacción química, podría transformarse en PFHxS, tal como se indica, por ejemplo, en 3M, 2015; Herzke y otros, 2012; Huang y otros, 2015. Las tasas de rendimiento del PFHxSF respecto del PFOSF en la producción del segundo probablemente se sitúen entre el 4 % (Gramstad y Haszeldine, 1957) y el 14,2 % (según un fabricante chino; Ren, 2016). Estas cifras concuerdan con las tasas cuantificadas en algunos productos comerciales a base de PFOS, a saber: 3,5 % a 9,8 % en el FC-95 de 3M (3M, 2015) y 11,2 % a 14,2 % en tres productos fabricados en China (Jiang y otros, 2015). Entre las impurezas de PFHxS resultantes de la producción de PFOS mediante fluoración electroquímica por 3M también se detectaron isómeros ramificados del PFHxS; por ejemplo, en un lote que presentaba un 4,7 % de impurezas de PFHxS, el 18 % de estas eran isómeros ramificados (Benskin y otros, 2010). Hasta donde se sabe, no está claro que la fabricación actual de PBSF genere PFHxSF como subproducto. Boucher y otros, 2019 señalaron que (después de limpiar los productos que contienen PFOS), el PFHxSF producido de manera no intencional se convirtió en productos que se usaron como se especifica en el párrafo 31.

42. Recientemente se publicó un inventario de emisiones mundiales de los PFSA de C₄ a C₁₀ y precursores conexos (Boucher y otros, 2019), en el que se examinan e incorporan los datos disponibles sobre el ciclo de vida del PFHxSF y sus derivados como materia prima a partir de datos de la producción histórica. Valiéndose de la misma metodología para elaborar y validar un inventario de las emisiones que se utilizó en un estudio anterior sobre el PFOSF (Wang y otros, 2017), se estableció un inventario del PFHxSF cuyos datos se han introducido en CliMoChem, modelo basado en el balance de masas que representa el destino de las sustancias en el medio ambiente mundial, para estimar las concentraciones en el medio ambiente y después compararlas con mediciones sobre el terreno. Debido a que no se encontró información sobre los volúmenes de producción de PFHxSF y sus derivados, en este documento no se cuantifican ni se incluyen datos sobre su producción no intencional en el pasado ni en la actualidad. En los inventarios de emisiones estimadas se incluyó la gama de emisiones mundiales totales dimanantes del ciclo de vida de los productos a base de PFHxSF y se especifican las emisiones mundiales correspondientes a cada categoría de fuentes de distintos períodos. En el período 2016-2030, se ha estimado un total mundial de emisiones de entre 2 y 89 toneladas a partir de la producción, el uso y la eliminación, así como la degradación de compuestos conexos del PFHxS y de la degradación del PFHxSF. En ese período, según las estimaciones, las emisiones más abundantes se producirán como consecuencia del uso y la eliminación (1 a 21 toneladas) y de la degradación de los compuestos conexos del PFHxS (1 a 66 toneladas). A falta de datos cuantitativos sobre las sustancias incluidas en el inventario, ha sido necesario recurrir a estimaciones e hipótesis, lo que a su vez ha introducido incertidumbres en los resultados (Boucher y otros, 2019).

43. Las concentraciones de PFHxS notificadas concuerdan con las concentraciones de PFHxS de los modelos. Los resultados demuestran que previsiblemente las elevadas concentraciones de PFHxSF y sus derivados (como el PFHxS y los compuestos conexos del PFHxS) en el medio ambiente se mantengan durante decenios, y que en zonas muy alejadas de las fuentes de las emisiones todavía no se ha llegado a las concentraciones máximas estimadas. Estas tendencias que se han estimado probablemente sean muy representativas en una escala geográfica grande; sin embargo, las emisiones no cuantificables resultantes de la producción intencional de productos a base de PFHxSF en China (y es posible que en otros países), pueden aumentar los niveles de exposición en algunas zonas y no han quedado reflejadas en este estudio (Boucher y otros, 2019).

44. En resumen, la información contenida en esta sección demuestra que el PFHxS se ha propagado mucho en el medio ambiente a nivel mundial (para más detalles, véanse también UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1 y UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). Históricamente, las emisiones principales de PFHxS y sus compuestos con toda probabilidad obedecieron a su presencia no intencional en el PFOS fabricado mediante fluoración electroquímica. Probablemente sigan produciéndose emisiones y liberaciones de PFHxS como resultado de la producción y el uso de PFOS. Además, es posible que también haya PFHxS en las existencias aún no eliminadas de PFOS o de productos o mezclas químicas lo que contengan. No obstante, noticias recientes, sobre todo de Asia, indican que el PFHxS ha sustituido al PFOS en muchas aplicaciones. Así lo ponen de manifiesto numerosas publicaciones nuevas que informan de que se ha detectado PFHxS como principal PFAS vertido en ríos y lagos, en particular en las zonas urbanas y en las inmediaciones de plantas industriales de Asia. Se informa de que actividades como el tratamiento de textiles (Park y otros, 2018; Ma y otros, 2018; Zhou y otros, 2019), las industrias química y electrónica (Park y otros, 2018), la industria de los semiconductores (Lin y otros, 2010), la fabricación de película fotográfica (Cui y otros, 2018), el revestimiento protector para alfombras (Zhou y otros, 2019) y la fabricación de fluoropolímeros (Zhou y otros, 2019) podrían estar vinculadas a esas liberaciones de PFHxS. Esos estudios indican que el PFHxS se usa deliberadamente en

estas aplicaciones y procesos industriales y no está presente como contaminante no intencional en la fabricación de PFOS. Asimismo, sin salir de Asia, se ha usado PFHxS en la fabricación de EFPA y recientemente se ha comercializado para sustituir al PFOS. No se han publicado datos cuantitativos sobre la producción intencional de PFHxSF (la materia prima para la producción de PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos), por lo que no es posible elaborar un inventario estimado de emisiones resultantes de la producción, el uso y la eliminación intencionales del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos. El inventario de emisiones que figura en Boucher y otros (2019) solo abarca la producción, el uso y la eliminación no intencionales del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos.

2.1 Definición de las medidas de control que pueden adoptarse

45. Para determinar las medidas de control que pueden adoptarse durante todo el ciclo de vida, se deberán analizar las aplicaciones más importantes y las posibles vías de emisión. La emisión de PFHxS puede aparecer por tres vías:

- a) La producción, el uso y la eliminación de PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos;
- b) La presencia en forma de impurezas en otros ácidos perfluoroalquilsulfónicos (por ejemplo, el PFOS); y
- c) Como producto de la degradación de algunos compuestos conexos del PFHxS, como los polímeros con cadenas laterales que contengan la fracción $C_6F_{13}SO_2$.

46. Como se menciona en el párrafo 34, se han catalogado las aplicaciones siguientes: 1) EFPA para extinción de incendios; 2) recubrimiento metálico; 3) productos textiles, cuero y tapicería; 4) abrillantadores y productos de limpieza y lavado; 5) revestimientos, impregnación y protección (contra la humedad, los hongos, etc.); y 6) en la fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores. Otras categorías de uso pueden ser los plaguicidas, los piroretardantes, papel y envases, en la industria del petróleo, y los fluidos hidráulicos. La información disponible permite inferir la probabilidad de que la aplicación en EFPA, el tratamiento de textiles, cuero y tapicería, y la fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores sean las principales aplicaciones que dan origen a liberaciones de PFHxS, sus sales y compuestos conexos. Esta conclusión viene corroborada por unos estudios presentados por China en el marco del Convenio de Basilea (2013) que dan cuenta de la detección de PFHxS como sustituto del PFOS en las aplicaciones siguientes: 1) EFPA; 2) agentes impermeabilizantes; 3) agentes para el acabado de textiles (Huang y otros, 2015). Sin embargo, no cabe descartar las liberaciones procedentes de otros usos domésticos y profesionales como, por ejemplo, abrillantadores y productos de limpieza y lavado.

47. En el marco del Convenio pueden aplicarse los enfoques siguientes para hacer efectiva la “prohibición o restricción de la producción, el uso, la importación y la exportación”, como se dispone en el artículo 3:

- a) Inclusión del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el anexo A, con exenciones específicas o sin ellas, junto con una parte específica del Anexo A en la que se detallen medidas específicas; o
- b) Inclusión del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el anexo B, con exenciones específicas o para finalidades aceptables, junto con una parte específica del Anexo B en la que se detallen medidas específicas; o
- c) Inclusión del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el anexo C como contaminante orgánico persistente no intencional para tener en cuenta la posibilidad de formación y liberación no intencional a partir de fuentes antropógenas, por ejemplo, a causa de la posible formación no intencional de PFHxS durante la incineración.

48. Ninguna Parte ni observador ha planteado propuestas de exenciones durante la elaboración de la presente evaluación de la gestión de riesgos. Tampoco se han solicitado exenciones y, todo parece indicar que existen alternativas viables desde el punto de vista técnico que ya se están usando para todas las aplicaciones. Por tanto, no hay motivos para incluir el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el anexo B del Convenio. Además, no se ha notificado la producción no intencional de PFHxS como resultado de la incineración ni se dispone de información al respecto, por lo cual no parece necesario incluir la sustancia en el anexo C. Todo ello indica que es posible eliminar por completo todos los usos del PFHxS y que no hacen falta exenciones para la producción y el uso. Por tanto, la medida de control que cabría adoptar es la inclusión del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el anexo A del Convenio sin exención alguna para su producción y uso.

49. Las medidas de control relativas a la inclusión del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el anexo A sin exenciones pueden hacerse efectivas mediante lo siguiente: 1) la prohibición de la producción, el uso, la importación y la exportación, 2) la rehabilitación de los sitios contaminados, 3) la gestión ambientalmente racional de los desechos y las existencias obsoletas, y 4) la prohibición de la reutilización y el reciclado de los desechos o las existencias.

50. La inclusión del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el anexo A sin exenciones estaría sujeta a la nota i) del anexo A. Esto significaría que la presencia del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en otras sustancias solo puede producirse como contaminante no intencional.

51. Una de las fuentes de emisiones de PFHxS que más altos valores registra en las estimaciones es el uso y la eliminación (Boucher y otros, 2019). En la información suplementaria de Boucher y otros (gráfico S6) figura una sinopsis de las posibles rutas de las corrientes de desechos que pueden dar lugar a emisiones de PFHxS en el medio ambiente. Aparte de las emisiones directas procedentes del uso, otras vías fundamentales de emisión de PFHxS al medio ambiente son el tratamiento de aguas residuales (gases, efluente y fango residual) y los desechos sólidos (vertederos, tratamiento del suelo). La rehabilitación del suelo contaminado con PFHxS es, si acaso, muy difícil con la tecnología existente (Naturvardsverket, 2019; CRC Care, 2017). Además, cuando los usuarios cambian hacia una alternativa química, tienen que lavar su equipo de fabricación y almacenamiento y eliminar los residuos líquidos resultantes de ese lavado de manera ambientalmente racional. Muchos estudios han detectado PFHxS en el efluente de plantas de tratamiento de aguas residuales y de instalaciones industriales (Lin y otros, 2010; Eriksson y otros, 2017; UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4. Cuadro 1.5). Asimismo, se ha informado de la formación de PFHxS en plantas de tratamiento de aguas residuales como resultado de la degradación de compuestos conexos del PFHxS (Eriksson y otros, 2017) y de la presencia de PFHxS en el efluente de ese tipo de plantas (Organismo Noruego para el Medio Ambiente, M-806/2017). Si las emisiones son altas en esos efluentes, en las plantas de tratamiento de aguas residuales se deberán adoptar las medidas de control descritas en la sección 2.4.1.

52. Tras la inclusión del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el Convenio habrá que cumplir las disposiciones del párrafo 1 d) ii) del artículo 6. Esto significa que se deberán eliminar los desechos de un modo tal que el contenido de contaminante orgánico persistente se destruya o se transforme en forma irreversible de manera que no presente las características de contaminante orgánico persistente o, de no ser así, se elimine de forma ambientalmente racional cuando la destrucción o la transformación irreversible no represente la opción preferible desde el punto de vista del medio ambiente o su contenido de contaminante orgánico persistente sea bajo. Las Partes deberán también considerar la posibilidad de adoptar medidas de reducción de las emisiones y de usar las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales en la etapa de gestión de los desechos (PNUMA, 2017). Además, las Partes pondrán su mejor empeño en elaborar estrategias adecuadas para detectar sitios contaminados con PFHxS. Si se detectan y se emprende la rehabilitación de esos sitios, esa labor se llevará a cabo de manera ambientalmente racional.

2.2 Eficacia y eficiencia de las medidas de control que pueden adoptarse para cumplir las metas de reducción de los riesgos

53. Hay que considerar la posibilidad de adoptar medidas de control en todas las etapas del ciclo de vida del PFHxS para reducir sus emisiones al medio ambiente. Estas emisiones se producen en todas las etapas del ciclo de vida, aunque se supone que sean las máximas durante su vida útil y al convertirse en desecho. No obstante, también se han constatado liberaciones considerables de PFHxS en instalaciones fabriles, especialmente en China (véanse, por ejemplo, Cui y otros, 2018; Ma y otros, 2018). Por tanto, la medida de control más eficaz para el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS es la prohibición de toda producción, utilización, importación y exportación. La mejor forma de lograrlo es incluir el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el anexo A del Convenio de Estocolmo sin exenciones. Con la aplicación de las medidas previstas en el artículo 6 se procuraría la gestión ambientalmente racional de las existencias y los desechos y la limpieza de sitios contaminados (si se acomete) como sería en instalaciones fabriles, aeropuertos, bases militares y otras fuentes o en sus inmediaciones.

54. Según la información presentada por las Partes y los observadores conforme a lo previsto en el anexo F, no se ha señalado ningún uso crítico del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS, ni se han propuesto exenciones. Por tanto, debería ser posible poner fin a la producción y el uso y, de ese modo, acabar con las emisiones y liberaciones procedentes de las fábricas e instalaciones que usan PFHxS, sus sales y compuestos conexos del PFHxS en sus productos (como el tratamiento de cuero y textiles, la fabricación de semiconductores, etc.).

55. Según un estudio realizado por el Grupo Mundial sobre Productos Químicos Perfluorados de la OCDE y el PNUMA, dos factores importantes para la reducción de los riesgos de las PFAS son el aumento de los conocimientos científicos y el número cada vez mayor de iniciativas internacionales que apoyan la transición hacia alternativas más seguras (OCDE, 2015). Durante la formulación y aplicación de las medidas de reducción de los riesgos de las PFAS pueden surgir numerosos problemas (OCDE, 2015), algunos de ellos relacionados con las medidas de control que tienen que aplicarse para cumplir la meta de reducción de los riesgos que suponen el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS. Falta información sobre las fuentes (producción y uso) del PFHxS y, en especial, de los compuestos conexos del PFHxS, lo cual dificultará a su vez la determinación de los procesos industriales (es decir, el tratamiento de productos textiles, cuero y otros materiales y la fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores, etc.) y productos en que se usan esas sustancias químicas. El sector industrial al que van dirigidas las medidas no ha facilitado información suficiente sobre las fuentes (producción y uso) y los productos y procesos industriales que usan PFHxS. Además, faltan métodos analíticos normalizados para detectar y cuantificar los distintos compuestos conexos del PFHxS, lo cual hace difícil determinar la presencia de los compuestos en los productos y las mezclas químicas (en la sección 1.1 se describen los métodos analíticos de detección del PFHxS, sus sales y las sustancias relacionadas con el PFHxS). En general, la falta de información sobre el contenido de productos químicos en los productos dificultará la separación de esos compuestos en la corriente de desechos y durante el

tratamiento de estos. En el marco del Enfoque Estratégico se ha elaborado un programa destinado a mejorar el intercambio de información sobre el contenido de sustancias químicas en los productos <http://www.saicm.org/Implementation/EmergingPolicyIssues/ChemicalsInProducts/tabid/5473/language/en-US/Default.aspx>.

56. Además, es muy frecuente la adición de bajas concentraciones de PFAS a algunos productos, con lo cual pudiera no ser obligatorio informar del contenido de la sustancia. Un ejemplo es el Registro REACH de la Unión Europea, que obliga a los proveedores a comunicar la presencia de toda sustancia que supere una concentración del 0,1 % en los artículos (véase la sección 1.5) y establece un umbral de 1.000 kg al año para el registro de conformidad con REACH, valor que puede no llegar a alcanzarse si la concentración de PFAS en el producto en cuestión es muy baja (véase la sección 2, párrafo 34), y que exime a los polímeros del registro obligatorio. Según Kotthoff y otros (2015), el contenido de PFAA era bajo en algunos productos de consumo (agentes de limpieza, material destinado a entrar en contacto con alimentos) y más elevado en productos como cera para espués, muestras de cuero y textiles para actividades al aire libre.

57. Como se analiza en párrafos anteriores y en la sección siguiente, en muchas de las aplicaciones en que se utiliza PFOS también se usan el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS (para más detalles, véase la sección 2). Las experiencias adquiridas, y las directrices e inventarios elaborados en el marco del programa de trabajo para el PFOS pueden ser muy útiles en la aplicación de medidas de control al PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS.

58. Con miras a supervisar la eficacia de las medidas de control que se pongan en práctica habrá que considerar el establecimiento de un sistema de vigilancia del mercado y de la actividad de vigilancia del medio ambiente.

2.2.1 Viabilidad técnica

59. Aunque no se dispone de una visión clara del uso del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS, cabe prever que muchos de sus usos intencionales sean análogos a los del PFOS (para más información, véase el perfil de riesgo del PFHxS; UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) y, en algunos casos, a los del PFOA. En el resumen de la sección 2 se amplía esta información. Por tanto, el “Informe sobre la evaluación de las alternativas al ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS), sus sales y el fluoruro de perfluorooctano sulfonilo (PFOSF)” (UNEP/POPS/POPRC.14/4 y UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8) también puede aportar información útil sobre posibles sustancias y técnicas alternativas al PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS. En el informe de evaluación se señala la existencia de alternativas técnicamente viables para todas las aplicaciones del PFOS, lo que da a entender la viabilidad de la transición hacia alternativas químicas y no químicas. Posiblemente muchas de las alternativas propuestas también sean válidas para el PFHxS. No obstante, cabe señalar que con anterioridad el PFHxS ya se ha usado como alternativa al PFOS en algunas aplicaciones (espumas ignífugas y el tratamiento de cuero y textiles) (UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1).

60. La información recibida de la industria durante el proceso del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes sobre el PFOS, sus sales y el PFOSF indica que está en marcha un proceso de sustitución del PFOS y que existen solo unos pocos usos para los cuales se necesita usar el PFOS (o compuestos conexos del PFOS) como inhibidor de gases en procesos de recubrimiento metálico duro en sistemas de circuito cerrado y como cebo para el control de las hormigas cortadoras de hojas. En su novena reunión, la Conferencia de las Partes decidió conceder una exención específica de duración limitada a la inhibición de gases en el recubrimiento metálico duro y mantener el cebo para el control de las hormigas cortadoras de hojas en la categoría de finalidad aceptable, aunque limitó su ámbito de aplicación a los usos agrícolas (decisión SC-9/4). Por lo que respecta al PFOA, se acordaron varias exenciones temporales, por ejemplo, se otorgó una exención específica para el uso del PFOA, sus sales y los compuestos conexos del PFOA en la repelencia al aceite y al agua de los textiles para proteger a los trabajadores contra los líquidos peligrosos que comportan riesgos para su salud y seguridad (decisión SC-9/12), aunque el proceso de sustitución de esta sustancia por otras opciones químicas y no químicas también está ya en marcha.

61. Como se ha indicado en la sección 2.3, hay muchas alternativas químicas no fluoradas para todos los posibles usos del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos, algunas de las cuales son soluciones técnicas para la eliminación del PFHxS.

2.2.2 Costos y beneficios de la aplicación de medidas de control

62. Dado que no se han solicitado exenciones, se prevé que los costos relacionados con la aplicación de medidas de control de la producción y el uso serían limitados. Las medidas de control adoptadas para el PFOS o el PFOA a un costo elevado podrían ser también efectivas para el PFHxS debido a los usos análogos que se suponen (por ejemplo, sustitución y destrucción de EFPA). Además, los volúmenes de existencias previstos deberían ser mínimos y con la eliminación del PFOS se eliminaría también el PFHxS generado de forma no intencional como subproducto en los productos que contienen PFOS. Como se sabe que el costo de extraer las PFAS del agua potable y los sitios contaminados es muy elevado, la aplicación de medidas de control para el PFHxS, sus sales u los compuestos

conexos del PFHxS contribuirían a evitar esos costos en el futuro (para más información sobre los costos, véase la sección 2.4.3).

2.3 Información sobre alternativas (productos y procesos), si procede

63. En términos generales faltan datos de dominio público sobre la identidad, las propiedades y la eficiencia de las alternativas a las PFAS para la mayoría de las aplicaciones, ya que esos datos suelen considerarse información comercial de carácter confidencial. Pese a los varios intentos realizados, la industria del ramo no ha presentado información sobre la producción y el uso del PFHxS (Organismo Noruego para el Medio Ambiente M-961/2018, ECHA, 2019b). Sin embargo, las alternativas existen y se usan en muchas aplicaciones, lo que indica que la industria las ha aceptado, luego deberían ser de utilidad (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). Por tanto, la presente evaluación de las alternativas al PFHxS se basa en los usos generales que se mencionan en el perfil de riesgo (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) y parte del supuesto de que las funciones del PFHxS en esos son iguales o muy parecidas a las del PFOS y, en algunos casos, a las del PFOA.

2.3.1 Sustancias alternativas para aplicaciones específicas

64. Las alternativas al PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos consisten en productos químicos sustitutivos y técnicas alternativas, que incluyen las no químicas, como la modificación de los diseños o los productos. Hay que hacer todo lo posible para impedir la sustitución por productos químicos tóxicos o persistentes.

65. Se entiende por sustitución lamentable la que tiene lugar “cuando un producto químico tóxico se sustituye por otro producto químico que más adelante se revela inadecuado por resultar asimismo una sustancia persistente, bioacumulativa y tóxica o por otras razones que causan preocupación” (U.S. National Research Council, 2014). Es difícil reducir la probabilidad de que la sustitución del PFHxS y sus compuestos conexos por ácidos perfluoroalquilos (PFAA) y compuestos conexos análogos resulte lamentable, ya que se trata de una categoría de productos químicos muy amplia (OCDE, 2018) y apenas hay información sobre la mayoría de ellas. Esta dificultad para tratar con una categoría de productos químicos tan amplia se puede abordar aplicando un procedimiento de agrupación, que se ha considerado un método importante para reducir la probabilidad de efectuar una sustitución lamentable, como han propuesto la ECHA (ECHA, 2017b) y los encargados de formular políticas nacionales de varios países (Ritscher y otros, 2018; Corder y otros, 2016). En muchos casos, los PFAA de cadena larga, sus sales y compuestos conexos pueden sustituirse por PFAA de cadena corta, sus sales y compuestos conexos (entendiendo por PFAA de cadena corta los ácidos carboxílicos perfluorados de C₂ a C₇ (PFCA) y los PFSA de C₃ a C₅) y otras alternativas fluoradas que se consideran seguras para los usos previstos por la industria (Fluorocouncil, 2015). En general, los PFAA de cadena corta son menos bioacumulativos, pero son persistentes, más hidrosolubles y tienen mucha movilidad, por lo que su propagación en el medio ambiente resulta más difícil de frenar y controlar que en el caso de los PFAA de cadena más larga (Arp y otros, 2017; Neumann y otros, 2017; Kotthoff y Bücking, 2018).

66. Algunas PFAA de cadena corta y otras alternativas fluoradas presentan una potencia tóxica parecida a la del PFOA y el PFOS cuando se tiene en cuenta la biodisponibilidad (Gomis y otros, 2018). En muestras de lluvia y agua analizadas en Toronto (Yeung y otros, 2017), más del 80 % de las PFAS detectadas correspondió a PFAS de cadena corta (PFCA de C₂ a C₇ y PFSA de C₄), y por sí solas las PFAS de C₂ y C₃ representaron más del 40 % del total de PFAS presentes. En el mercado han aparecido algunos compuestos fluorados nuevos que sustituir a los PFAA de cadena larga, sus sales y compuestos conexos. En aguas superficiales de diversos lugares del mundo se han detectado varios ácidos carboxílicos y éter sulfónicos perfluorados (PFECA y PFESA) novedoso, como los ácidos dímero y trímero de óxido de hexafluoropropileno (HFPO-DA, conocido también por el nombre comercial GenX, y HFPO-TA), el 4,8-dioxa-3-*H*-perfluorononanoato de amonio (también conocido por su nombre comercial, ADONA), el ácido éter sulfónico clorado polifluorado (6:2 Cl-PFESA) y su análogo estructural con hidrógeno en lugar de cloro (6:2 H-PFESA) (Pan y otros, 2018). También se ha detectado ADONA en la sangre humana de poblaciones abastecidas con agua del grifo contaminada con esa sustancia (Fromme y otros, 2017), y se han encontrado fuentes de agua contaminadas con PFAA de cadena corta (Gebink y otros, 2017; Braunig y otros, 2019). Se han detectado PFCA, otras PFAS, como PFECA y PFESA, en aguas naturales recogidas en lugares que presentaban un historial de contaminación por compuestos perfluorados (Strynar y otros, 2015).

67. En la actualidad, varias sustancias alternativas de cadena corta, que se sospecha son sustancias persistentes, bioacumulativas y tóxicas o muy persistentes y muy bioacumulativas, (por ejemplo, ADONA y los compuestos relacionados con el PFHpA), son objeto de evaluación conforme al REACH (lista CoRAP de la ECHA) o está en preparación la adopción de medidas reglamentarias de gestión del riesgo (PFHpA, PFBS, PFHxA (Registro de Intenciones y Herramienta de Coordinación de Actividades Públicas (PACT) de la ECHA)). El HFPO-DA se catalogó en julio de 2019 como sustancia extremadamente preocupante debido a su persistencia, movilidad, potencial de transporte a gran distancia en el medio ambiente, efectos adversos observados, bajo potencial de absorción y elevada hidrosolubilidad, lo que hace que tenga plena biodisponibilidad para su absorción por medio del agua (potable)⁵.

⁵ <https://echa.europa.eu/candidate-list-table/-/dislist/details/0b0236e1833efc3e>.

Por tanto, es posible que en el futuro se impongan restricciones al uso de algunas de esas sustancias. Además, esos compuestos suelen ser menos eficientes en la aplicación, de ahí que haya que usar más cantidad y, en consecuencia, aumenten las emisiones en las etapas de uso y eliminación del producto (Schelleberger y otros, 2019).

68. El Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes ya ha examinado la cuestión de las sustituciones lamentables del PFOA y el PFOS por otras PFAS en sus recomendaciones relativas a las alternativas al PFOS (decisión POPRC-14/3) y sus recomendaciones para la inclusión del PFOA (decisión POPRC-14/2) en el Convenio de Estocolmo. En la novena reunión de la Conferencia de las Partes se decidió que, en vista de que las PFAS de cadena corta pertenecían a una categoría de productos químicos muy amplia con diferentes propiedades químicas y físicas y dado que el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes no había examinado los datos relacionados con esta categoría tan amplia, no se haría referencia específica a la necesidad de evitar las PFAS de cadena corta (en las espumas ignífugas). En su lugar, se prefirió aprobar el siguiente texto: “Alienta a las Partes y a otros interesados a que utilicen alternativas del PFOA, sus sales y los compuestos conexos del PFOA, en los casos en que estén disponibles, sean viables y eficaces, y que, a la vez, tengan en cuenta que las espumas ignífugas basadas en flúor podrían tener efectos negativos sobre el medio ambiente, la salud humana y consecuencias de carácter socioeconómico debido a su persistencia y movilidad” (decisión SC-9/5 (PFOS) y decisión SC-9/12 (PFOA)). Las alternativas a base de PFAS de cadena corta alternativas son más hidrosolubles y tienen mayor movilidad ambiental que las PFAS de cadena larga (Badel y otros, 2017; Barzen-Hanson y Field, 2015). A fin de evitar la sustitución lamentable por otros PFAA, en las secciones siguientes se analizan principalmente las alternativas químicas no fluoradas y las técnicas alternativas no químicas.

69. En el cuadro 3 se presenta una sinopsis de las categorías de usos catalogadas y de las alternativas disponibles para sustituir al PFHxS y después, en secciones independientes, se ofrece información sobre cada aplicación y sus alternativas, en casos en que se presta atención especial a las soluciones técnicas y químicas no fluoradas. (Las alternativas fluoradas se indican solamente en los casos en que no se ha demostrado la viabilidad de las alternativas químicas no fluoradas y las técnicas alternativas para todas las aplicaciones de la categoría de uso de que se trata.)

Cuadro 3. Sinopsis de las alternativas

Aplicación	Disponibilidad de alternativas	Tipo de alternativa
Espumas ignífugas	Sí	Alternativas químicas fluoradas y no fluoradas
Recubrimiento metálico	Sí	Alternativas químicas (fluoradas y no fluoradas) y soluciones técnicas
Textiles	Sí	Alternativas químicas (fluoradas y no fluoradas) y soluciones técnicas
Abrillantadores y agentes de limpieza y lavado	Sí	Alternativas químicas no fluoradas
Revestimiento e impregnación y protección	Sí	Alternativas químicas no fluoradas
Aparatos electrónicos y semiconductores	Sí	Alternativas químicas fluoradas y no fluoradas

2.3.1.1 Espumas ignífugas fluoradas

70. Las espumas ignífugas fluoradas, entre las que se encuentran las espumas formadoras de película acuosa (EFPA), son espumas muy eficaces para extinguir incendios causados por líquidos inflamables de alta peligrosidad. Las EFPA producen una capa delgada que separa los líquidos muy inflamables o los sólidos combustibles del aire rico en oxígeno. La película de agua, que está situada entre el combustible y la espuma, enfría la superficie del combustible, actúa como barrera de vapor y permite que la espuma se expanda sobre el combustible. Por lo general, la formulación de las EFPA resulta de la combinación de surfactantes sintéticos a base de hidrocarburos con surfactantes fluorados y se usan como espumas ignífugas de clase B para extinguir incendios originados por combustibles líquidos a base de hidrocarburos. Las espumas fluoradas de esta clase se denominan EFPA, espumas fluoroproteicas o espumas fluoroproteicas formadoras de película. Las espumas ignífugas sin flúor (F3) de clase B se basan en mezclas patentadas de surfactantes a base de hidrocarburos.

71. Las sustancias perfluoradas (como el PFOS y el PFHxS) usadas en las EFPA se han producido de forma intencional mediante FEQ, proceso en el que se emplea fluoruro de hidrógeno como materia prima junto con materiales orgánicos (Buck y otros, 2011). En la producción de sustancias fluoradas mediante FEQ pueden generarse tanto productos ramificados como productos lineales, y productos con cadenas de diversa longitud (Buck y otros, 2011). Los productos a base de PFOS pueden contener entre un 1 % y un 10 % de PFHxS (Wang y otros, 2017 (información suplementaria); examinada en el perfil de riesgos; UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1), a menos que se limpien y se extraiga el PFHxS producido de forma no intencional. Con la eliminación completa de las EFPA que contengan PFOS también se contribuiría a reducir las emisiones de PFHxS y sus compuestos conexos al medio ambiente.

72. Se ha detectado PFHxS y sus compuestos conexos en las EFPA (D'Agostino y Mabury, 2014; KemI, 2015; Favreau y otros, 2017) y se ha encontrado en aguas subterráneas y suelos afectados por prácticas de manipulación de las EFPA, la mayoría de las veces como consecuencia del uso de espumas que contienen PFOS con cantidades no intencionales de PFHxS (Barzen-Hanson y otros, 2017; Gobelius y otros, 2018; Banzhaf y otros, 2017). No obstante, en el pasado atrás se estuvieron comercializando EFPA que tenían PFHxS como compuesto perfluorado activo (cuadro 8, ECHA, 2019b). Dado que los concentrados de EFPA tienen una vida útil muy larga, de 10 a 20 años, es posible que las existencias de EFPA ya instaladas contengan aún PFHxS. Además, algunas EFPA nuevas fabricadas en China en 2015 contienen PFHxS en sustitución del PFOS (https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substitution-in-china.pdf). Según Eurofeu (Comité Europeo de Fabricantes de Equipo de Protección contra Incendios y Vehículos de Bomberos), las industrias europea y norteamericana de espumas ignífugas han cumplido íntegramente el Programa de Gestión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos con la eliminación total de la producción de EFPA a base de C₈, aunque aún quedan existencias del producto (<http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POPRC13FU-SUBM-PFOA-FFFC-3-20180112.En.pdf>). Esto quiere decir, que las espumas fluoradas fabricadas hasta 2015 pueden contener sustancias perfluoradas C₈; después de esa fecha se han aplicado las políticas sobre la “C₆ pura” (Eurofeu, 2018). La espuma “C₆ pura” contiene fluorosurfactantes producidos mediante telomerización, por lo que no deben contener PFHxS (FFFC, 2017).

Alternativas al PFHxS en las espumas ignífugas par incendios clase B

73. En esta sección hay que considerar dos categorías de alternativas, a) las alternativas sin flúor y b) las alternativas fluoradas de cadena corta.

a) Alternativas sin flúor:

74. Varios fabricantes de espumas ignífugas ofrecen espumas sin flúor capaces de satisfacer los requisitos de las certificaciones estándar de extinción de incendios de clase B (véase el cuadro 6 de UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). La única excepción es la norma militar de los Estados Unidos (Mil Spec) (MIL-F-24385), que no solo guarda relación con las normas de desempeño, sino que especifica también la inclusión de productos químicos fluorados. Sin embargo, el Departamento de la Marina de Guerra de los Estados Unidos, responsable de la Mil-Spec, lleva algunos años sopesando la modificación de la norma para que, en lugar de especificar contenidos y propiedades de los componentes químicos, se base en el desempeño (IPEN, 2018). En octubre de 2018, el Senado de los EE. UU. aprobó una reautorización de cinco años para la Administración Federal de Aviación por la cual se modificaron las normas de desempeño relativas a las espumas ignífugas para permitir el uso de espumas sin flúor en aeropuertos civiles (Congreso de los Estados Unidos, 2018).

75. En los aeropuertos civiles de Australia, Dinamarca, Noruega, Suecia, y en aeropuertos tan importantes como Heathrow y Gatwick (Londres), Dubai, Stuttgart, Edimburgo y Auckland (IPEN, 2018) se están usando espumas sin flúor. En los aeropuertos civiles de Noruega, la sustitución se aplica tanto en los sistemas fijos como en los móviles. En varias instalaciones militares del país, se han introducido las espumas sin flúor. Por otra parte, el sector del gas y el petróleo de Noruega está introduciendo la espuma sin flúor en sus instalaciones (terrestres y marinas), se muestra satisfecho con su rendimiento y confía en su eficacia (comunicación personal con Equinor y la Asociación Noruega del Gas y el Petróleo, Organismo Noruega para el Medio Ambiente, 2019).

76. El Instituto de Prevención de Incendios y Desastres de Heyrothsberge, en Alemania, puso a prueba seis espumas ignífugas sin flúor resistentes al alcohol y una espuma a base de PFAS para determinar su capacidad de extinción de incendios causados por cinco líquidos polares distintos que pueden ser componentes del biodiesel (Keutel y Koch, 2016). Los autores llegaron a la conclusión de que algunas espumas sin flúor ya en el mercado tienen un rendimiento parecido al de las espumas que contienen PFAS. Como también se señala en la evaluación de la gestión de los riesgos del PFOA, el estado australiano de Queensland (2016) informa que muchas espumas sin flúor cumplen las normas más estrictas de extinción de incendios y superan los resultados obtenidos con espumas fluoradas formadoras de película en diversas circunstancias, y que las espumas sin flúor se usan en muchos aeropuertos e instalaciones de otro tipo, como son las plataformas de extracción de petróleo y gas.

77. LASTFIRE, que es un consorcio integrado por 16 empresas petroleras, inició un proyecto a finales de los años noventa para determinar los riesgos que entrañaban los depósitos de almacenamiento de combustible de techo flotante de gran diámetro (superior a 40 m). En 2018 LASTFIRE probó seis nuevas EFPA de C₆ y dos espumas sin flúor en depósitos de gran tamaño y, a partir de esas experiencias, (basadas en las espumas seleccionadas incluida en la prueba), llegó a la conclusión de que ninguna espuma de nueva generación (fluorada o sin flúor) podía considerarse un ‘reemplazo’ directo de las formulaciones empleadas hasta entonces. Al examinar la viabilidad de las alternativas hay que tener en cuenta tanto la eficacia extintora como la compatibilidad con los métodos vigentes de aplicación y control del sistema. Los resultados indican que la eficacia de las espumas alternativas será específica de cada formulación y del tipo de equipo de aplicación usado. Por tanto, es imposible afirmar que todas las alternativas fluoradas a base de C₆ darán mejores resultados que todas las alternativas sin flúor, y tampoco lo contrario (Ramsden, 2018).

78. Se dispone de relativamente muy poca información sobre la estructura química o las propiedades de las alternativas sin flúor. Se conoce de varios fabricantes y productos comerciales de espumas sin flúor con certificado de seguridad, pero los detalles precisos de las formulaciones no son de dominio público por considerarse información comercial confidencial (véase el cuadro 6 de UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). En cambio, las patentes de espumas sin flúor ofrecen más información; por ejemplo, en la patente de Solberg se enumeran los ingredientes siguientes: éter butílico de dietilenglicol, goma xantana, almidón, azúcar carbonizado, laurilsulfato de dietanolamina, decilsulfato etoxilado de sodio, cocamidopropil betaína, cocamidopropil hidroxisulfato, octilsulfato de sodio, decilsulfato de sodio, alquil poliglucósido (patente US20080196908). (Simplificado: una composición de sacáridos carbonizados, un reticulante o una sal inorgánica, un surfactante y agua).

79. Las ventajas del uso de espumas sin flúor tienen que ver con la reducción de los efectos a largo plazo en el medio ambiente; los efectos a corto plazo relacionados con la toxicidad aguda como consecuencia de la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno apenas se diferencian de los que causan las espumas que contienen flúor (IPEN, 2018). Las espumas sin flúor son biodegradables, mientras que las EFPA contienen sustancias fluoradas persistentes (<https://echa.europa.eu/fluorine-free-foams>).

b) Alternativas fluoradas de cadena corta:

80. Según la Fire-Fighting Foam Coalition (FFFC, 2017), todas las EFPA modernas contienen fluorosurfactantes a base de fluorotelómeros, y los fluorosurfactantes de cadena corta (C_6) (es decir, las PFAS de cadena corta con PFCA de longitud $< C_7$ o PFSA de longitud $< C_6$) han sido las sustancias químicas fluoradas más usadas en las EFPA a base de fluorotelómeros en los últimos 25 años. La telomerización que, junto con la FEQ, es un importante proceso para la fabricación de sustancias perfluoradas, da por resultado un producto que por lo general contiene dos carbonos no fluorados entre el grupo funcional y la cadena de perfluoroalquilos (Buck y otros, 2011). Los estudios indican que los fluorotelómeros, al degradarse en el medio natural, terminan convirtiéndose en ácidos perfluorados; y se sabe, por ejemplo, que el 6:2 FTS se degrada en PFHpA y PFHxA, pero no en PFHxS (Wang y otros, 2011b). En el mercado hay varias EFPA certificadas para incendios de clase B que contienen fluorosurfactantes obtenidos por telomerización (véase el cuadro 5 de UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). (Cabe destacar que la UE está sometiendo a escrutinio varias sustancias perfluoradas de cadena corta para determinar si introduce normas al respecto (cuestión examinada en la sección 2.3, párrafo 68)). En comparación con las espumas de C_8 , para lograr un efecto ignífugo eficiente hay que usar concentraciones más elevadas de fluorosurfactantes C_6 o surfactantes oligoméricos (Tyco Patent 2014).

81. El medio acuático de muchas regiones, que incluye las aguas superficiales y las aguas subterráneas, está contaminado con PFAS (entre ellas, el PFHxS), por lo que plantea un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Se reconoce que una de las fuentes principales de contaminación por PFAS son los centros de adiestramiento en extinción de incendios (muchas veces situados en aeropuertos y campos de entrenamiento militar) en los que se han usado EFPA que contienen PFAS (Gobelius y otros, 2018; Banzhaf y otros, 2017; Hu y otros, 2016; IPEN 2018). Los impactos en el medio ambiente y los costos de rehabilitación en esos puntos críticos son considerables. Por otro lado, las PFAS alternativas de cadena corta con PFCA de longitud $< C_7$ o PFSA de longitud $< C_6$ (incluidos sus precursores) muestran una hidrosolubilidad relativamente mayor y más movilidad ambiental (Baduel y otros, 2017; Barzen-Hanson y Field, 2015). También se dedica cada vez más atención al enfoque “de punta a punta” (Ramsden, 2017). En Queensland (Australia), se regula cada vez más la espuma “ C_6 pura” ($\leq C_6$ = el 99,995 % de las PFAS) (Gobierno de Queensland, Australia, 2016); no está permitido su liberación directa al medio ambiente, deben quedar guardadas del todo en el sitio, y deben eliminarse como desecho conforme a la reglamentación (Gobierno de Queensland, Australia, 2018).

82. La industria de espumas ha elaborado directrices sobre las mejores prácticas (FFFC, 2016) para el uso de espumas que contienen flúor debido a los motivos de preocupación que suscita la contaminación ambiental, que incluyen, por ejemplo, las recomendaciones siguientes:

- a) Solo deben usarse espumas fluoradas para incendios de clase B en situaciones que entrañen un peligro considerable de incendio por líquido inflamable;
- b) Antes de decidir sobre el uso de espumas fluoradas de la clase B para atajar un peligro concreto de incendio de origen líquido, hay que investigar si es posible lograr la extinción requerida y la resistencia a la reignición con otras técnicas no fluoradas;
- c) Se deben evaluar técnicas y agentes alternativos con suficiente antelación a una situación de emergencia que exija una respuesta urgente;
- d) En las actividades de capacitación o entrenamiento deben usarse espumas que no contengan fluorosurfactantes;
- e) Usar métodos de ensayo con sucedáneos líquidos que no contengan fluorosurfactantes para realizar pruebas con sistemas fijos y sistemas de dosificación de espuma instalados en vehículos;

f) Disponer lo necesario para la contención, el tratamiento y la eliminación adecuada de la solución espumosa, en lugar de liberarla directamente al medio ambiente. Elaborar planes de recogida de la escorrentía del agua utilizada en la extinción de los incendios para el uso de espumas fluoradas de clase B.

83. Además, la FFFC suministra esta información: no se recomienda el uso de espumas de clase B para peligros de clase A (madera) o clase C (eléctricos) en los que el riesgo de incendio por líquido inflamable sea mínimo o inexistente. De existir ese riesgo, habrá que desconectar de la corriente eléctrica las aplicaciones de clase C, ya que la espuma contiene agua, que es un conductor de electricidad. Algunos ejemplos de situaciones en las que no se necesitan espumas de clase B son, aunque no se limitan a estos, los incendios forestales, los incendios residenciales y estructurales, las salas de ordenadores e instalaciones de telecomunicaciones, los restaurantes y cocinas comerciales, y la protección de instalaciones en general. Además, las espumas de clase B tal vez no sean necesarias en el caso de conatos de incendio por líquidos inflamables de poca monta, como incendios de automóviles sin un derrame de combustible considerable, en que se pueda usar agua en abundancia o un extintor químico seco.

84. El reconocimiento de estos hechos llevó a la adopción de una decisión, en la que se estipula lo siguiente: “Alienta a las Partes y a otros interesados a que utilicen alternativas del PFOA, sus sales y los compuestos conexos del PFOA, en los casos en que estén disponibles, sean viables y eficaces, y que, a la vez, tengan en cuenta que las espumas ignífugas basadas en flúor podrían tener efectos negativos sobre el medio ambiente, la salud humana y consecuencias de carácter socioeconómico debido a su persistencia y movilidad” (decisión SC-9/5). La misma recomendación se aprobó para el PFOA (decisión SC-9/12).

2.3.1.2 Recubrimiento metálico

85. Durante la evaluación de las alternativas al PFOS se analizaron distintas opciones químicas y soluciones técnicas no fluoradas (véase el cuadro 3 de UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8).

86. El recubrimiento metálico duro se usa para proteger los componentes metálicos contra el desgaste y la corrosión. Los rodamientos industriales, los cilindros hidráulicos y los cigüeñales son ejemplos de aplicaciones industriales de la galvanización dura con cromo, proceso mediante el cual se deposita una capa fina de cromo en la superficie de metal básico o de aleación metálica de una pieza para dotarla de dureza y resistencia, cuando estos atributos son importantes. En esas aplicaciones, la pieza se sumerge en un baño de ácido crómico (cromo hexavalente, Cr (VI)). Los inhibidores de gases son agentes químicos que se añaden a ese baño de cromo para reducir la cantidad de cromo que se pierde en la superficie. El Cr (VI) es carcinógeno para los seres humanos, y los inhibidores de gas (neblina) reducen la exposición ocupacional, con lo cual disminuye el riesgo de sufrir cáncer de las vías respiratorias. Los inhibidores químicos de gas (neblina) son surfactantes que disminuyen la tensión superficial de la solución de galvanizado. Al controlarse la tensión superficial, las burbujas de gas resultantes del proceso disminuyen de tamaño y se elevan más despacio que las más grandes, con lo cual es menos probable que se forme neblina en el aire y que las gotas vuelvan a caer en el baño galvanizante.

87. La información disponible sobre el PFHxS no deja clara la cantidad de sustancia que se usa en el recubrimiento metálico. Con todo, se han encontrado varias patentes (Dainippon, 1979, 1988; 3M, 1981; Hengxin, 2015) para el uso del PFHxS, sus sales y diversos compuestos conexos del PFHxS como inhibidores de neblina en el recubrimiento metálico, señal de que puede haberse usado de esa manera (examinado en Organismo del Medio Ambiente de Noruega, M-961/2018). Es probable que, al menos, la empresa china Hubei Hengxin haya comercializado la sal de potasio del PFHxS para recubrimiento metálico y el PFHxSF como materia prima para diversos tipos de galvanizado (decorativo, etc.) (Hengxin, 2019). Cabe señalar que la fabricación (incluida la importación) o el procesamiento de dos sales de PFHxS (ácido tridecafluorohexanosulfónico, compuesto con 2,2'-iminodietanol (1:1); núm. de CAS 70225-16-0 y *N*-etil-*N*-[(tridecafluorohexil)sulfonil]glicinato de potasio; núm. de CAS: 67584-53-6) para usarlas como componentes de un agente grabador, en particular, un surfactante o un inhibidor de gases, que actúan en el proceso de recubrimiento de aparatos electrónicos no se considerarán un nuevo uso importante que deba notificarse con arreglo a la Norma de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos sobre nuevos usos importantes relativa a sustancias químicas de sulfonatos perfluoroalquilos y carboxilatos perfluoroalquilos de cadena larga (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2013). Por otro lado, es probable que, como consecuencia de la producción no intencional de PFHxS durante el proceso de fluoración electroquímica (Wang y otros, 2017), los inhibidores de neblina o gases a base de PFOS usados en el recubrimiento metálico contengan cantidades no intencionales de PFHxS, sus sales y compuestos conexos del PFHxS.

Técnicas alternativas no químicas

88. Existen algunas tecnologías alternativas que prescinden de los productos químicos e impiden la liberación de cromo hexavalente durante los procesos de recubrimiento (cuadro 3 en UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8), como el uso de bolas recubiertas de politetrafluoroetileno (Teflón) y de mallas o mantas para los baños de recubrimiento. No obstante, se ha puesto en duda la eficacia de este sistema en comparación con los inhibidores de gases (véase la sección 2.5.3 en UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). Otra posibilidad es el uso de dispositivos de control, como las almohadillas de malla compuestas (AMC) o el depurador de gases de ácido crómico (<https://www.monroenvironmental.com/air-pollution-control/packed-bed-wet-scrubbers/>), para capturar los aerosoles

resultantes del cromado. Según la Orientación sobre las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para el uso del PFOS (UNEP 2017b), estas técnicas se consideran alternativas al uso de dispositivos de control a base de PFOS, y se ha indicado que no hay factores que limiten el acceso a esos dispositivos de control, ya que se pueden adquirir en el mercado en el Canadá (UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1). El sistema AMC recoge las emisiones de cromo mediante una almohadilla de malla en la que se condensan las partículas de ese metal, lo que permite recogerlas, principalmente por medios físicos. Normalmente, el sistema consta de varias etapas, en cada una de las cuales interviene una almohadilla distinta. En las primeras etapas se eliminan las partículas grandes, en las etapas intermedias se eliminan las partículas pequeñas y en las etapas finales, las microscópicas. El sistema AMC resulta eficaz para eliminar las gotas e impedir la descarga de neblina de ácido crómico. Nuestro limitado conocimiento no permite saber si el uso de este sistema puede generar más desechos de ácido crómico, ni se conocen los riesgos y costos aparejados a ese aumento. Otras técnicas alternativas disponibles son el recubrimiento de cromo por medios nanotecnológicos (<http://www.greencoat.it/>), un sistema de dos capas ideado por Hauzer Techno Coating (<https://www.hauzertechnocoating.com/en/>) y el sistema Hexigone, mecanismo basado en unos microdepósitos inteligentes capaces de contener sustancias anticorrosivas que se neutralizan antes para que no alteren las capas (<https://www.hexigone.com/>). Ahora bien, no está claro si estas técnicas son válidas para el recubrimiento metálico duro, o para el decorativo.

Alternativas químicas

89. Poulsen y otros (2011) han demostrado que se pueden usar inhibidores de neblina sin PFOS para recubrimientos duros de cromo (Cr VI) no decorativos en sistemas de circuito cerrado. El producto Fumetrol® 21, alternativa fluorada fabricada por Atotech a base de ácido 1*H*,1*H*,2*H*,2*H*-perfluorooctano sulfónico (ácido 6:2 fluorotelomerosulfónico; núm. de CAS: 27619-97-2) reduce las emisiones de Cr (VI). Al degradarse con el tiempo, esta alternativa a base de polifluoroalquilo se transforma en una mezcla de ácidos perfluorocarboxílicos cuyas cadenas de alquilo no contienen más de seis átomos de carbono perfluorado. También se está tratando de usar Cr (III) para el recubrimiento duro mediante la creación de una alternativa inocua para el medio ambiente que permita sustituir el cromo hexavalente (<https://www.pfonline.com/blog/post/nucor-invests-in-environmentally-friendly-chrome-plating>). Se dispone además de alternativas sin flúor como el alquilsulfonato y olea amina (ECHA, 2019c).

2.3.1.3 Textiles, incluidos el cuero y la tapicería

90. En el sector textil se usan mucho los agentes de acabado a base de PFAS para fabricar materiales hidrófugos, oleófugos y repelentes a la suciedad sin reducir su transpirabilidad. Según Hubei Hengxin, el acrilato de [*N*-metil-perfluorohexano-1- sulfonamida]etilo (núm. de CAS: 67584-57-0), compuesto conexo del PFHxS, se usa en productos hidrófugos y oleófugos para el tratamiento de cuero y textiles (Hengxin, 2019). Cerca de la mitad de todas las PFAS usadas en el mundo se destinan a la producción de textiles (Organismo Danés de Protección del Medio Ambiente, 2015). Según un estudio del Gobierno de Dinamarca (Organismo Danés de Protección del Medio Ambiente, 2015), en el informe se mencionan cinco grupos de productos químicos no fluorados: 1) parafinas, 2) compuestos de ácido esteárico y melamina, 3) silicona, 4) dendrímeros y 5) nanomateriales. En el informe se llegó a la conclusión de que existen alternativas no fluoradas que confieren una capacidad hidrófuga duradera, pero son muy pocas las alternativas químicas no fluoradas que sirvan para repeler el aceite y la suciedad (Organismo Danés de Protección del Medio Ambiente, 2015). En la gama de agentes para el acabado de productos textiles hidrófugos y sin fluorocarbonos disponibles figuran productos comerciales como BIONIC-FINISH®ECO y RUCO-DRY® ECO, comercializados por Rudolf Chemie Ltd., Geretsried (Alemania); Purtext® WR, Purtext® WA y Purtext® AP, comercializados por el Grupo Freudenberg de Weinheim (Alemania); y ecorepel®, comercializado por Schoeller Technologies AG, Sevelen (Suiza). También se venden productos a base de acrilato, metacrilato y adipato para el tratamiento de superficies de textiles y alfombras (UNEP/POPS/POPRC.13/7/Add.2).

91. En un estudio sobre el consumo se estuvo investigando la manera en que variaba la funcionalidad entre la química de los repelentes a base de PFAS de cadena larga (C₈), la de los repelentes a base de PFAS de cadena más corta (C₆), y la de compuestos no fluorados en tejidos para prendas de uso en exteriores con el objeto de documentar una comparación novedosa de las telas repelentes que pueden adquirirse actualmente en el mercado para prendas de uso en exteriores, así como determinar sus propiedades hidrófugas y oleófugas (Hill y otros, 2017). En lo que hace a los consumidores de atuendos para uso al aire libre, la química no fluorada puede satisfacer en estos momentos los requisitos de repelencia al agua. Los autores plantean que, por esa razón, el uso de las PFAS para ese tipo de prendas es un “exceso de técnica”, porque aporta una capacidad oleófuga superior a la que el consumidor necesita. En otro estudio, los polímeros fluorados de cadena lateral (PFL) y los agentes hidrófugos no fluorados a base de polidimetilsiloxanos o hidrocarburos demostraron magníficas cualidades hidrófugas y durabilidad en algunos casos, mientras que los PFL de cadena corta resultaron ser la mejor alternativa, ya que repelían mejor el agua que los de cadena larga (Schellenberger y otros, 2018). Se observó una acentuada disminución de la eficacia oleófuga y la durabilidad en los PLF conforme aumentaba la longitud de la cadena perfluoroalquílica. Las alternativas sin flúor resultaron incapaces de repeler el aceite, lo cual que podría limitar sus posibilidades de sustitución en aplicaciones textiles que requieran la repelencia de líquidos no polares, como son los tejidos sanitarios usados en batas y sábanas quirúrgicas, en los quirófanos y en prendas para médicos, enfermeros y personal de laboratorio que deba protegerse

de la sangre y los fluidos corporales por ser portadores de infecciones y virus (Schellenberger y otros, 2018). Este dato concuerda con la información suministrada en la evaluación de las alternativas al PFOS, que se actualizó en 2018 (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). No obstante, en el mismo estudio se demostró, con carácter experimental, que algunos agentes hidrófugos duraderos, no fluorados e incluso biodegradables, podrían conferir cierto grado de repelencia contra las manchas (Schellenberger y otros, 2018).

2.3.1.4 Abrillantadores, productos de limpieza y lavado, incluidos revestimientos, impregnación y sellado (para la protección contra la humedad, los hongos, etc.)

92. Por medio de la Internet se pueden buscar algunos productos, sin embargo, se dispone de poca información sobre el contenido y la identidad de sus componentes químicos. Por ejemplo, “Impregno” es un producto destinado a proteger la piedra contra las manchas de agua y la suciedad que no contiene flúor (<https://impregno.de/>).

93. No se ha publicado mucha información sobre el uso del PFHxS en productos de limpieza, lavado y abrillatado. Según una fuente, uno de los compuestos conexos del PFHxS (la sal potásica [*N*-etil-*N*-(tridecafluorohexil)sulfonil]glicina, núm. de CAS: 67584-53-6) se estaba usando en abrillatadores y productos de limpieza y lavado al menos entre 2000 y 2015 en Dinamarca, Noruega y Suecia (SPIN, 2018).

94. Se informó del uso de un compuesto conexo del PFHxS (núm. de CAS 67584-61-6, 2- metacrilato de 2-[metil[(tridecafluorohexil)sulfonil]amino]etilo) en la impregnación /recubrimiento para la protección contra la humedad, los hongos, etc. al menos en cuatro productos en Dinamarca entre 2003 y 2009 (SPIN, 2018). Por otra parte, en la misma categoría de uso se había registrado también el mismo compuesto conexo del PFHxS (núm. de CAS. 67584-61-6) en Noruega en 2011.

95. Según el FluoroCouncil (véase UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8), muchos proveedores mundiales ofrecen alternativas “no fluoradas”, entre ellas:

- a) Repelentes a base de cera de hidrocarburos, que consisten en formulaciones de sal metálica y parafina;
- b) Poliuretanos modificados hidrófobos (poliuretanos hiperramificados modificados hidrófobos llamados dendrímeros);
- c) Productos a base de polisiloxano;
- d) Repelentes a base de resina, consistentes en resinas de melamina modificadas con ácidos grasos.

2.3.1.5 Fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores

96. Varios estudios informan de liberaciones y emisiones de PFHxS en la industria de los semiconductores (examinado en el perfil de riesgo del PFHxS; UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1), señal de que en esa aplicación se ha sustituido el PFOS por el PFHxS. Las investigaciones revelaron que el PFHxS era el principal PFAS presente en los efluentes de desechos finales de una planta de fabricación de semiconductores en la Provincia China de Taiwán (Lin y otros, 2009), dato corroborado por otra información publicada, según la cual el PFHxS se usa en la industria de semiconductores. El PFHxS (133,3 ng/l), junto con el PFOS (128,7 ng/l), era uno de los principales contaminantes presentes en el vertedero de aguas residuales de una planta de fabricación de semiconductores. Ambos PFSA están presentes en el efluente en cantidades análogas, que indican que el PFHxS es una de sustancias primaria en este proceso (Lin y otros, 2010). Las PFAS (por ejemplo, el PFOS o el PFHxS) no permanecen en los semiconductores; pero si no se extraen de las aguas residuales antes de que se produzca su liberación, seguirán el curso de las aguas y se liberarán al medio ambiente.

97. No hay más información sobre los procesos específicos de la fabricación de productos electrónicos y semiconductores en los que se usa PFHxS, por lo que es necesario examinar toda la información disponible sobre las alternativas al PFOS en este sector de la industria. Según la orientación sobre las alternativas al PFOS (UNEP/POPS/POPRC.9/INF/11/Rev.1), a base de PFOS durante las siguientes aplicaciones fotolitográficas, fundamentales para la fabricación de chips semiconductores:

- a) Estampado ultrafino/componentes fotorresistentes como generadores fotoácidos y surfactantes;
- b) Revestimientos antirreflejo como surfactantes de rendimiento excepcional.

98. El PFHxS, al igual que el PFOS, puede usarse como surfactante en la fabricación de semiconductores compuestos y enjuagarse durante el tratamiento de lavado posterior.

99. Durante la evaluación de las alternativas al PFOS se encontraron varias alternativas químicas no fluoradas (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8/Add.1). Se clasificó a las siguientes alternativas entre las sustancias que posiblemente no tuvieran las características propias de los contaminantes orgánicos persistentes: acetato de amilo, anisol, acetato de *n*-butilo, lactato de etilo, metil-3-metoxipropionato y acetato de éter metílico de propilenglicol. Según la bibliografía científica, debería ser posible elaborar un sistema fotorresistente sin PFOS (Ayothi y otros, 2006). Asimismo, algunas patentes describen composiciones fotorresistentes sin flúor como alternativas al uso de PFOS y PFAS (véase UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1). En 2010 IBM anunció la creación de un generador

fotácido sin flúor como parte de su compromiso de eliminar las PFAS. Según la empresa, el proceso sin flúor cumple los requisitos de rendimiento prescritos para las dos exposiciones de inmersión en seco (<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/7639/1/Design-synthesis-and-characterization-of-fluorine-free-PAGs-for-193/10.1117/12.846600.short>). Por su parte, Fuji describe componentes fotorresistentes sin “PFOS ni PFAS” para su uso en la industria de semiconductores (https://www.fujifilmusa.com/products/semiconductor_materials/photoresists/krf/index.html#features).

2.3.2 Otros usos

100. Además de las aplicaciones ya mencionadas, otras categorías de uso podrían ser los plaguicidas, los pirorretardantes, el papel y la industria del petróleo, así como utensilios de cocina. Además, según información procedente de diversas fuentes, se ha detectado PFHxS en material que entra en contacto con los alimentos, en sellantes, adhesivos, espuma arquitectónica y revestimientos, así como en algunas aplicaciones de edificios y en la construcción (véase el cuadro 1.9 en UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4).

101. La Imaging and Printing Association Europe (I&P Europe), asociación que abarca a todos los principales fabricantes de productos fotográficos (la industria de la creación de imágenes y la industria fotográfica) de la Unión Europea, ha comunicado que sus miembros no usan PFHxS, sus sales o compuestos conexos del PFHxS (I&P Europe, información presentada atendiendo al anexo F).

2.4 Resumen de la información sobre los efectos sociales de las medidas de control que pueden aplicarse

102. Cabe esperar que la reducción o eliminación a nivel mundial del PFHxS, sus sales y los compuestos relacionados con el PFHxS sea beneficiosa para la salud humana y el medio ambiente. Al evaluar los efectos de las restricciones en la salud humana y el medio ambiente es importante tener en cuenta las características específicas del PFHxS. Estas sustancias se consideran contaminantes orgánicos persistentes y, como tales, tienen propiedades definidas que en particular se refieren a la posibilidad del PFHxS de persistir en el medio ambiente, lo que significa que no se eliminan del medio ambiente. Por tanto, debido a su persistencia en el medio ambiente y como resultado de su transporte a larga distancia, el PFHxS está presente en el medio ambiente de todo el mundo, incluso en zonas apartadas donde las emisiones son insignificantes. Además, el PFHxS puede acumularse en los organismos vivos y tiene propiedades toxicológicas que, en caso de exposición prolongada, pueden surtir efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente. El PFHxS tiene también la vida media en el suero humano más larga que jamás se haya notificado en relación con una PFAS. Por consiguiente, la gestión de los riesgos de esas sustancias se apoya en datos científicos y en medidas de precaución acordes con lo establecido en el párrafo 9 del artículo 8 del Convenio de Estocolmo.

2.4.1 Salud, que incluye la salud pública, ambiental y laboral

103. La eliminación de la producción, el uso, la exportación y la importación de PFHxS y sus compuestos conexos mediante una inclusión en el anexo A sin exenciones tendría consecuencias beneficiosas para la salud humana y el medio ambiente al reducir las emisiones y, en última instancia, eliminarlas definitivamente. Como se indica en el perfil de riesgos, el PFHxS ha contaminado en gran medida el medio ambiente, seres humanos y la flora y fauna silvestres incluidos (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). Se ha observado una amplia gama de efectos en seres humanos y animales como consecuencia de la exposición al PFHxS, por ejemplo, efectos negativos en la función hepática y en el metabolismo lipídico y lipoproteico, trastornos endocrinos, alteraciones del colesterol, las lipoproteínas, los triglicéridos y la fosfatasa alcalina y efectos en la reproducción, y puede afectar el desarrollo del cerebro y el sistema inmunológico. En estudios epidemiológicos se han observado efectos en la respuesta de los anticuerpos a la vacunación. El PFHxS está presente en la sangre, incluida la del cordón umbilical, y la leche materna (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). Su vida media en los seres humanos es muy prolongada (Olsen y otros, 2007) y se transmite de una generación a otra mediante la transferencia placentaria y la leche materna (Winkens y otros, 2017).

104. El agua potable es una fuente importante de exposición para los seres humanos, y en zonas con agua potable contaminada se han registrado tendencias al alza de los niveles de PFHxS en la sangre humana (Li y otros, 2018). Debido al uso generalizado de las PFAS en las EFPA y, en algunos países, a la instrucción en el manejo de esas espumas que históricamente se ha llevado a cabo a campo abierto, en combinación con la persistencia de las PFAS, se han contaminado las fuentes de agua potable de muchos países de todos los continentes (Gobelius y otros, 2018; Banzhaf y otros, 2017; Mak y otros, 2009; Kabore y otros, 2018; Zafeiraki y otros, 2015; Boiteux y otros, 2012; Ericson y otros, 2009, para más detalles véase el cuadro 1.6 en UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). En una investigación realizada en 2014 se estimó que, de los cerca de 10 millones de habitantes de Suecia, 3,6 millones consumían agua potable contaminada con PFAS, incluido el PFHxS (Banzhaf y otros, 2017). Entre 2010 y 2015 se detectó la presencia de PFHxS en el agua potable suministrada por 134 empresas de abastecimiento a 5,5 millones de personas en 23 estados de los Estados Unidos (EWG's Tap Water Database). El PFHxS se ha detectado en 55 fuentes de agua pública

de las 4.920 existentes, en niveles superiores al límite mínimo de notificación (0,03 µg/l), y en 207 muestras de un total de 36.971 se encontró PFHxS (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2017).

105. Muchos países han impuesto valores límite a la presencia de algunos PFAS en el agua potable para proteger a su población (véase la sección 1.5). En 2014 el Organismo Sueco de Productos Químicos y la Administración de Alimentos y Medicamentos de Suecia establecieron una red nacional sobre las PFAS integrada por autoridades, investigadores, juntas administrativas de los condados, gobiernos municipales y productores de agua. La red se ocupa primordialmente de dar respuesta al problema de la presencia de PFAS en el agua potable, y analiza soluciones que permitan eliminar las sustancias del suelo y del agua potable, pero también emprende otras iniciativas como investigaciones sobre las sustancias perfluoradas. Esta plataforma se propone entablar comunicación, establecer contactos y dar apoyo a diversos agentes del país (KemI, 2014)

106. En general, las técnicas tradicionales para el tratamiento de las aguas, como la coagulación con sulfato de aluminio o cloruro férrico, la ultrafiltración, microfiltración o filtración granular, la aireación, la oxidación (con permanganato, luz ultravioleta o peróxido de hidrógeno) y la desinfección (mediante ozonización, dióxido de cloro, cloración y cloraminación), no sirven para eliminar las PFAS (Boone y otros, 2019). Se ha demostrado que, con los tratamientos para la desinfección, como la cloración y la ozonización, los precursores de un grupo de cuatro amidas y sulfonamidas polifluoroalquiladas zwitteriónicas y catiónicas se degradan a PFOA y PFOS (Xiao y otros, 2018). También se han observado niveles más altos de algunas PFAS en el efluente de unas plantas de tratamiento de aguas residuales que en el afluente. En todas las plantas de tratamiento de aguas residuales, la masa neta de PFHxA, PFOA, PFHxS y PFOS registró un aumento neto en el efluente respecto del afluente, a una media del 83 %, 28 %, 37 % y 58 %, respectivamente (Eriksson y otros, 2017). El volumen de sustancias precursoras e intermedias en las aguas y fangos entrantes, combinado con el aumento neto de masa de los PFCA y los PFSA persistentes en los efluentes de las plantas de tratamiento analizadas en el estudio, avala la hipótesis de que la degradación de compuestos precursores contribuye de manera considerable a la contaminación del medio ambiente con PFAS (Eriksson y otros, 2017).

107. Se ha demostrado la eficacia de algunas técnicas para eliminar las PFAS del agua, aunque resultan muy costosas (véase la sección 2.4.4). Estas técnicas podrían usarse también en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales para reducir las emisiones al medio ambiente. Se logró eliminar más del 95 % del PFHxS mediante nanofiltración de agua desionizada, en casos en que la membrana de filtración presentaba una capa de suciedad y contenía aguas subterráneas artificiales, condiciones estas que recrean con más fidelidad una situación de la vida real. Se ha demostrado que con la microfiltración o ultrafiltración, combinadas con la ósmosis inversa, pueden eliminarse las PFAS, entre ellos el PFHxS. La resina de intercambio iónico no surte tanto efecto con otras PFAS de cadena corta, pero puede eliminar con eficacia más del 97 % del PFHxS (examinado en Arvaniti y Stasinakis, 2015). El intercambio de aniones y el tratamiento con carbón activado granulado (CAG) se han revelado más eficaces para eliminar las PFAS de cadena larga y los PFSA que los PFCA, y la ósmosis inversa ha demostrado una capacidad considerable de eliminación de todas las PFAS, incluso las más pequeñas, como el ácido perfluorobutanoico (Appleman y otros, 2014). Además, se ha comprobado que el CAG y el intercambio de aniones son más eficaces para eliminar PFSA lineales que PFSA ramificados, es decir, que los diseñadores y operarios de esos dos tratamientos deben tener en cuenta el carácter selectivo de la eliminación de PFAS y la desorción concomitante de los PFCA de cadena corta durante la eliminación conjunta de varias PFAS (McCleaf y otros, 2017).

108. Quedó demostrado que el polvo es una fuente importante de exposición, sobre todo en el lugar de trabajo, pero también para los niños de corta edad, muy expuestos al polvo por su costumbre de llevarse la mano a la boca. En una planta china de productos fluoroquímicos que fabrica compuestos conexos del PFOS se observó que el polvo de interiores (67,3 %) y la dieta (31,6 %) eran las fuentes principales de exposición humana al PFHxS (Gao y otros, 2015). Las concentraciones séricas de PFHxS se situaban entre los 12,8 y los 10.546 ng/ml, y los niveles correspondientes al polvo de interiores iban desde una cantidad no determinada hasta los 257.201 ng/g (media=15.726) (Gao y otros, 2015). En otro estudio realizado en una planta fluoroquímica del mismo distrito, las concentraciones séricas de PFHxS en los familiares de los empleados de la planta se situaban entre 4,33 y 3.164 ng/ml, el polvo en las residencias anexas a la planta presentaba niveles de PFHxS de 0,44 a 708 ng/g –cifras muy superiores a las detectadas en los demás residentes de la zona. Además, el PFHxS de la dieta fluctuaba entre 0,067 y 0,448 ng/g de peso húmedo y el PFHxS del agua potable, de una cantidad no determinada a 3,2 ng/l (Fu y otros, 2015). La ventilación, el uso de equipo de protección del personal y el cumplimiento estricto de la obligación de cambiarse las prendas protectoras en distintas zonas podrían servir para reducir la exposición.

109. Los bomberos se beneficiarían de una prohibición del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos. Los niveles de PFHxS en el suero de los bomberos analizados en un estudio fluctuaban entre 49 y 326 ng/ml, frente a los niveles de 0,2 a 22 ng/ml registrados en el grupo de control (Rotander y otros, 2015a). Los niveles de PFOS y PFHxS guardaban una marcada correlación, y los más elevados eran de un orden de magnitud superior a los observados en la población de Australia y el Canadá en general. Los participantes en el estudio que habían trabajado diez años o menos presentaban unos niveles de PFOS (y de PFHxS) parecidos a los de la población en general o, cuando más, algo mayores. Esto hecho coincide con la eliminación de las EFPA fabricadas por 3M de todos los centros de formación profesional en 2003, y con el uso de espumas sin flúor a partir de 2010, y es un indicio de que la exposición al PFOS y al PFHxS presentes en las EFPA ha disminuido en los últimos años (Rotander y otros, 2015b).

2.4.2 Agricultura, incluidas la acuicultura y la silvicultura

110. La eliminación del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS beneficiaría a la agricultura y reduciría el riesgo de exposición directa e indirecta de los seres humanos y el medio ambiente. Las investigaciones realizadas indican que la propagación de las PFAS en el suelo agrícola se produce sobre todo debido al riego con agua contaminada y al uso de fangos cloacales contaminados o desechos industriales como mejoradores del suelo (Ghisi y otros, 2019). Las PFAS (incluido el PFHxS) son absorbidas por las plantas en distinta medida según la concentración, longitud de cadena y grupo funcional, la especie y variedad, y el medio de cultivo de las plantas (hidropónico o suelo), y las características del suelo y los biosólidos (examinado en Ghisi y otros, 2019). Los niveles de PFAS en los cultivos pueden aumentar si se fertiliza el suelo con biosólidos (fangos tratados procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales). Se ha detectado PFHxS y compuestos conexos del PFHxS en fangos residuales y efluente de plantas de tratamiento (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4, cuadro 1.5). Asimismo, se ha observado la absorción vegetal de PFHxS presente en suelo contaminado con PFAS (Wen y otros, 2014). Además, se ha demostrado que las plantas pueden inducir la biotransformación de sustancias precursoras; por ejemplo, se ha demostrado que el trigo biotransforma la PFOSA en PFOS, PFHxS y PFBS (Zhao y otros, 2018).

111. Como se examina en el perfil de riesgo, varios estudios han informado de la presencia de PFHxS en alimentos (EFSA, 2012; Gebbink y otros, 2015; Noorlander y otros, 2011; Food Standards Australia New Zealand, 2016; cuadro 1.7 de UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). Se ha detectado PFHxS y otros PFAS en frutas y hortalizas de Europa (Herzke, 2013 y D'Hollander y otros, 2015). En Australia, en muestras ambientales recogidas principalmente en sitios contaminados, se encontraron las concentraciones medias más elevadas de PFHxS en la carne de res y conejo y en los huevos (Food Standards Australia New Zealand, 2016). Otros alimentos que presentaban una concentración elevada eran los crustáceos, el hígado de pescado y la carne de cordero (Food Standards Australia New Zealand, 2016). En estudios sobre pasto de trigo cultivado en suelo contaminado con EFPA se demostró la biodisponibilidad y bioacumulación del PFHxS (Bräunig y otros, 2019).

112. Debido al uso de PFHxS y otras PFAS en varias aplicaciones industriales y domésticas, las sustancias se detectan con regularidad en el efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales y en el lixiviado procedente de vertederos (Hamid y otros, 2018; Arvaniti y Stasinakis, 2015, véase el cuadro 1.5 de UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). En un estudio de Allred (y otros, 2014) se detectaron varios precursores del PFHxS (FHxSAA, MeFHxSAA, EtFHxSAA) en el lixiviado de vertederos, indicio de que esos precursores o sus compuestos originales probablemente se estuvieron usando en diversas aplicaciones, ya que los vertederos habían recibido desechos residenciales y comerciales, desechos de construcción y demolición, biosólidos procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales así como desechos industriales no peligrosos. Se han notificado emisiones de PFHxS a la atmósfera procedentes de vertederos y plantas de tratamiento de aguas residuales, así como acumulación en hojas en los alrededores de los vertederos (Ahrens y otros, 2011; Tian y otros, 2018).

113. Se ha detectado PFHxS en muchas especies acuáticas (véase el cuadro 1 de UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). La eliminación del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS también sería beneficiosa para la acuicultura, en particular en las zonas en que las especies acuáticas sean una fuente importante de alimentación y se haya demostrado que el consumo de pescado es una vía de exposición al PFHxS para los residentes. Se han observado niveles elevados de PFAS y PFHxS en el suero de los empleados de una empresa pesquera situada en el lago Tangxun y en la dieta de pescado de los habitantes del lago Baiyangdian, ambos cercanos a plantas fluoroquímicas (Zhou y otros, 2014; Cui y otros, 2018).

2.4.3 Aspectos económicos y costos sociales

Prohibición del uso

114. Los conocimientos actuales indican que el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS se usan o pueden haberse usado en muchas de las mismas categorías de uso del PFOS, sus sales y sus compuestos conexos. No se han solicitado exenciones para ninguna aplicación en relación con el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS. Además, los volúmenes previstos de existencias actuales deberían ser mínimos, y con la eliminación del PFOS, debería eliminarse la presencia no intencional de PFHxS como subproducto no intencional generado durante la fabricación de productos en la que participa el PFOS. Entonces, por lo que se sabe actualmente, cabe esperar que la industria pueda sustituir todos los usos actuales del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS sin que ello entrañe un costo socioeconómico importante (RPA, 2019). Varios países ya han introducido algunas normas relativas a las PFAS de cadena larga, entre ellos el PFHxS (véase sección 1.5).

115. Los costos de la aplicación de la normativa pueden compartirse con los costos de la aplicación de otras restricciones relativas a las PFAS, por ejemplo, las destinadas a evitar la presencia simultánea de PFOS, PFOA, PFCA de C₉ a C₁₄, y PFHxS y sus compuestos conexos en un artículo al mismo tiempo. Podrían usarse los métodos especificados por el Comité Europeo de Normalización en relación con el PFOS para detectar formas iónicas del PFHxS y sus sales (para más información sobre los métodos de análisis y sus dificultades, véase sección 1.1). Por esa razón, el costo de aplicación de las normas específicas del PFHxS debería ser bajo. No obstante, cabe prever algún

costo de creación de capacidad. La aplicación de la normativa también planteará dificultades a causa de los bajos niveles de PFHxS en los productos (como ocurre con las demás PFAS). Será importante elaborar métodos analíticos capaces de distinguir con claridad entre las sustancias incluidas en la lista y las no incluidas (cuestiones análogas se analizan en las evaluaciones del Comité de Evaluación de los Riesgos y el Comité de Análisis Socioeconómico en el caso de los PFCA de C₉ a C₁₄ y en la propuesta de restricción del PFOA en el marco de REACH (ECHA, 2018, 2015)).

116. En un estudio realizado por Oosterhuis y otros (2017) se trató de proporcionar información que pudiese servir de referencia para evaluar la proporcionalidad de las medidas de control del PFOA, el PFOS y otras sustancias que son contaminantes orgánicos persistentes. Se analizaron las estimaciones de eficacia en función de los costos de las medidas reglamentarias que se han aplicado o examinado. Los datos disponibles indican que, en el pasado, las medidas reglamentarias de reducción del uso o las emisiones cuyo costo fuese inferior a 1.000 €/kg de la sustancia no solían rechazarse, mientras que las medidas cuyo costo superase los 50.000 €/kg con toda probabilidad se rechazaban. Sin embargo, no se ha podido vincular la decisión de rechazar o no una medida a ningún parámetro concreto de proporcionalidad, pues rara vez se han formulado declaraciones explícitas sobre “costos desproporcionados”.

117. En un estudio que usó los limitados datos disponibles sobre el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS se indicó la probable proporcionalidad de los costos relacionados con la eliminación de las EFPA que contengan PFHxS como principal ingrediente fluoractivo (RPA, 2019).

Control de las descargas y las emisiones

118. Los gastos en atención de la salud (estimados entre 2,8 y 4,6 millones de euros para los países nórdicos) y los costos de limpieza (estimados en 46 millones y 11.000 millones de euros para los países nórdicos) son altos en zonas que reciben aguas contaminadas con PFAS o contienen suelos contaminados (NCM, 2019). A juicio del IPEN, los costos vitalicios de usar las EFPA superan con creces los de las espumas sin flúor por el solo hecho de la responsabilidad jurídica y financiera que entraña el uso de una espuma a base de sustancias químicas fluoradas (IPEN, 2018). Por ejemplo, el Gobierno de Australia anunció en 2018 la consignación en el presupuesto nacional de 73,1 millones de dólares australianos (50,7 millones de dólares de los Estados Unidos) para ayudar a las personas afectadas por la contaminación con PFAS, de los cuales 55,2 millones de dólares australianos (38,3 millones de dólares de los Estados Unidos) se gastarían en el transcurso de un quinquenio a proporcionar acceso a la población al abastecimiento de agua potable libre de impurezas. El Gobierno ya ha gastado más de 100 millones de dólares australianos (69,4 millones de dólares de los Estados Unidos) en las actividades de investigación, gestión y rehabilitación relacionadas con las PFAS. Algunas de las medidas adoptadas se han centrado en los efectos de la contaminación en el ser humano, por ejemplo, actividades de divulgación, un servicio de ayuda y servicios de asesoramiento, así como un programa voluntario de análisis de sangre y el estudio epidemiológico correspondiente para las comunidades afectadas.

119. El PFHxS tiene la vida media en el ser humano más prolongada de todas las PFAS con valores conocidos y está presente en la mayoría de las muestras analizadas en el medio ambiente y la biota (véase UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). Falta una valoración monetaria de los efectos del PFHxS en la salud humana y el medio ambiente porque aún no se ha definido una relación cuantitativa de causa y efecto entre los niveles de PFHxS y los diferentes parámetros de valoración clínica, y porque, además, sería difícil deslindar los efectos del PFHxS de los de otras PFAS que surten efectos parecidos, como el PFOS. Sin embargo, en el análisis socioeconómico del estudio del Consejo Nórdico se llegó a la conclusión de que los costos de la inacción son considerables, ya que las estimaciones sitúan los costos anuales relacionados con la salud entre 2.800 millones y 4.600 millones de euros en el caso de los países nórdicos³ y entre 52.000 millones y 84.000 millones en el total de países que integran el Espacio Económico Europeo (EEE). Los costos generales no relacionados con la salud se estiman entre 46 millones y 11.000 millones de euros para los países nórdicos (NCM, 2019). El informe se basa en la monetización de algunos parámetros de valoración clínica vinculados con la exposición a las PFAS, como el cáncer de riñón, la hipertensión y la mortalidad en general. No se han monetizado los efectos en los niños, como el bajo peso al nacer y la infección (días con fiebre debido a los efectos en el sistema inmunológico). En el informe sí se estimaron costos no relacionados con la salud que abarcan desde el tratamiento de los recursos de agua potable hasta la rehabilitación de los suelos contaminados. Los costos relacionados con la eliminación de las PFAS del agua potable en dos ejemplos de casos se estimaron en un millón de euros anuales para el filtrado mediante carbón en Uppsala y en tres millones de euros en el caso de la instalación de una nueva red de abastecimiento de agua en Ronneby, pequeña ciudad donde unos 5.000 hogares se vieron afectados inmediatamente cuando en 2013 se detectaron niveles muy altos de PFAS (KemI, 2016). Además, está el costo social que supone la exposición a las PFAS, incluido el PFHxS, por la vía del agua potable, debido a que aumentan los problemas de salud, así como la ansiedad entre la población afectada.

120. Debido al uso generalizado de las EFPA, una de las principales fuentes de emisiones de PFAS (especialmente del PFOS) al medio ambiente es la dispersión a partir de suelos contaminados. Dada la presencia habitual del PFHxS en las EFPA que contienen PFOS, la sustancia se ha propagado por las inmediaciones de los centros de adiestramiento en extinción de incendios. En Noruega y muchos otros países, los aeropuertos y sus inmediaciones están especialmente contaminados con PFAS, a causa de la obligación de realizar pruebas y prácticas de extinción con regularidad. En Noruega se ha detectado PFOS, PFHxS y otras PFAS en la mayoría de los 50 aeropuertos

investigados, desde concentraciones bajas y pequeñas cantidades residuales en el suelo hasta lugares extremadamente contaminados desde donde se propagan hacia los lagos y fiordos cercanos. Está en marcha la rehabilitación de varios aeropuertos, pero aún se desconoce el costo exacto de esa labor. Se sabe que los filtros de carbón activado cuyo uso se recomienda, se obstruyen con facilidad si el agua contiene algún material, por ejemplo, sustancias húmicas. Los costos de este método de rehabilitación dependen de la frecuencia con que se sustituyan los filtros, pero este tipo de solución podría costar hasta 50 millones de coronas noruegas (6,5 millones de dólares de los Estados Unidos) en un solo lugar (aeropuerto de Evenes) en un período de treinta años. Se calcula que el costo de instalación del sistema de bombeo y tratamiento del agua podría ser del orden de 14 millones de coronas noruegas (1,8 millones de dólares de los Estados Unidos). Una de las mayores incertidumbres de la estimación de costos es el tiempo que tarda el PFOS en desaparecer del suelo en medida suficiente para que el agua de esa corriente no tenga efectos perniciosos en el lago o el fiordo receptores (Alling y otros, 2017). Si las tareas de rehabilitación se llevasen a cabo de forma adecuada, se podrían garantizar los recursos de agua potable, la fauna y flora silvestres y los recursos pesqueros en masas de agua superficiales como lagos y aguas interiores. No obstante, hay que vigilar el agua, los sedimentos y la biota para evaluar las mejoras logradas con las medidas de rehabilitación adoptadas.

Gestión de los desechos y existencias

121. Como se ha mencionado anteriormente en Boucher y otros (2019), las fuentes de las emisiones más elevadas de PFHxS son el uso y la eliminación. En el suplemento de esa publicación (Boucher y otros, 2019 S2.1.3) se ofrece una reseña esquemática del destino de diversos productos basados en PFHxSF durante el uso y la eliminación y se señalan las posibles rutas de las corrientes de desechos que pueden dar lugar a emisiones de PFHxS al medio ambiente (gráfico S6). Estas emisiones pueden producirse mediante las aguas residuales (gases, efluentes y fangos) y los desechos sólidos (vertederos, tratamiento en tierra).

122. De conformidad con el párrafo 1 d) ii) del artículo 6, si se incluye el PFHxS en una lista del Convenio de Estocolmo, los productos que contengan PFHxS deberán eliminarse de un modo tal que su contenido de contaminante orgánico persistente se destruya o se transforme en forma irreversible de manera que no presenten las características de contaminante orgánico persistente o, de no ser así, se eliminen en forma ambientalmente racional. Las características especiales de la gestión y eliminación relacionadas con el PFHxS podrían resultar costosas. Debido al uso histórico de la sustancia en la impregnación de textiles, esta corriente de desechos podría verse afectada. Además, el uso generalizado en varias categorías de productos tendría repercusiones en los desechos domésticos, los desechos de equipos eléctricos y electrónicos y los vehículos al final de su vida útil también. La capacidad de incineración a altas temperaturas podría plantear un problema. En el caso de los países en desarrollo, la ONUDI ha recomendado diversas técnicas eficaces que no requieren combustión, entre ellas métodos adecuados para la destrucción de PFAS como son la reducción química en fase gaseosa y la molienda de bolas (ONUUDI, 2007). En la actualización de las directrices técnicas generales para el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes, que los contengan o estén contaminados con ellos conforme al Convenio de Basilea se incluye la reducción química en fase gaseosa como técnica capaz de destruir todos los contaminantes orgánicos persistentes (UNEP/CHW.14/7, cuadro 4). Se ha demostrado que la oxidación electroquímica destruye los PFAA de C₄ a C₈ (AECOM, 2018). Además, la co-incineración en hornos de cemento puede usarse para la incineración a altas temperaturas y es habitual en la mayoría de los países. Sin embargo, no se conocen bien los productos de la pirólisis o la combustión, la temperatura a la que estas tienen lugar ni el alcance de la destrucción (Fuerza Aérea de los Estados Unidos, 2017). También se desconocen los costos relacionados con la gestión de desechos. Las directrices técnicas sobre el PFOS (uso, existencias y desechos) también son muy válidas para los desechos que contienen PFHxS (PNUMA, 2017 a,b; 2015)

123. El Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes ya elaboró un conjunto de recomendaciones para gestionar las corrientes de desechos de PFOS. En la decisión POPRC-6/2 se describen sucintamente algunas medidas de reducción del riesgo a corto, largo y mediano plazos. Dado que las modalidades de uso del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos son parecidas a las del PFOS, esas recomendaciones son en su mayoría aplicables al PFHxS, en particular: “Utilizar las tecnologías de destrucción basadas en las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales para los desechos que contengan PFOS en la producción actual y los usos industriales del PFOS. No se debería permitir el vertimiento de esos desechos, a menos que se aplique un tratamiento adecuado al material lixiviado que contenga PFOS. Asegurar el almacenamiento en condiciones de seguridad cuando no se disponga de inmediato de tecnologías de destrucción. Empezar investigaciones urgentes de los vertederos donde se depositen desechos transportados por productores de PFOS o usuarios industriales de PFOS (industrias de papel, alfombras, tejidos, cromado y otras que hayan utilizado PFOS). El agua potable procedente de embalses y pozos alledaños a esos vertederos, y también los que se encuentren en la cercanía de zonas donde se produce y utiliza el PFOS, debería ser analizada”.

124. También se han elaborado recomendaciones detalladas sobre la reducción de los riesgos que suponen el uso, las existencias actuales, el reciclado de artículos, los productos de consumo depositados en vertederos municipales, y las liberaciones dimanantes de sitios contaminados (decisión POPRC-6/2).

2.4.4 Avances hacia el desarrollo sostenible

125. La eliminación del PFHxS está en consonancia con los planes de desarrollo sostenible que procuran la reducción de las emisiones de productos químicos tóxicos y que vinculan la seguridad química con el desarrollo sostenible y la reducción de la pobreza. La gestión ambientalmente racional de los productos químicos y los desechos durante todo su ciclo de vida se aborda en la resolución 70/1 de las Naciones Unidas y forma parte de los objetivos de desarrollo sostenible descritos en la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. En el Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional se reconoce que los productos químicos perfluorados y la transición hacia alternativas más seguras son una cuestión que causa preocupación. En la Estrategia de Política Global del Enfoque Estratégico se estipula también que “los productos químicos o los usos de esos productos plantean para la salud humana y el medio ambiente un riesgo excesivo o que, por otras razones, sea difícil de controlar, a la luz de una evaluación del riesgo basada en datos científicos y teniendo en cuenta los costos y beneficios, así como la disponibilidad de productos más seguros y eficaces que puedan sustituirlos, se hayan dejado de producir o utilizar con esos fines”. En la Estrategia de Política Global se recomienda además que los contaminantes orgánicos persistentes podrían figurar entre los grupos de productos químicos de interés prioritario para una evaluación que apoye la transición hacia alternativas más seguras.

2.5 Otras consideraciones

126. La inclusión del PFHxS en el anexo A sin exenciones entrañará la necesidad de comunicar medidas de control que sean eficaces e idóneas, incluso para los países que cuenten con una infraestructura limitada para regular los productos químicos. La información sobre las alternativas puede obtenerse con facilidad y transmitirse en caso necesario. En lo que respecta a la vigilancia ambiental y la vigilancia biológica, se puede añadir al PFHxS a los programas de vigilancia que ya se ocupan de otros contaminantes orgánicos persistentes, en particular el PFOS y el PFOA.

2.5.1 Acceso a la información y educación del público

127. En las páginas web de algunas Partes, observadores y organizaciones no gubernamentales se ofrece información sobre las PFAS y otros materiales para que el público se instruya al respecto; por ejemplo,:

- a) OCDE: Portal sobre productos químicos perfluorados y polifluorados: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/>;
- b) ECHA (Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas): <https://echa.europa.eu/> (búsquedas mediante el núm. de CAS);
- c) ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades): <https://www.atsdr.cdc.gov/pfas/index.html> ;
- d) Australia: <https://www.pfas.gov.au/>,
<http://www.defence.gov.au/Environment/PFAS/Publications/Default.asp>,
<http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/ohp-pfas-hbgv.htm>;
- e) Ministerio del Medio Ambiente y la Alimentación de Dinamarca: <https://mst.dk/>;
- f) Agencia de Protección Ambiental de Suecia: <http://www.swedishepa.se/Global-links/Search/?query=PFAS>;
- g) Organismo Noruego para el Medio Ambiente: <http://www.environment.no/>;
- h) Información relativa a las iniciativas enmarcadas en la Ley Canadiense de Protección del Medio Ambiente de 1999: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/canadian-environmental-protection-act-registry/general-information/fact-sheets.html>;
- i) Información sobre la evaluación y la gestión de las sustancias en el Canadá: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/canadian-environmental-protection-act-registry/general-information/fact-sheets/management-process.html>;
- j) Estado de Alaska. División de Prevención y Respuesta en materia de Derrames. Sitios contaminados: <https://dec.alaska.gov/spar/csp/pfas-contaminants>;
- k) Acceso a los datos generados por los miembros del FluoroCouncil: <https://fluorocouncil.com/health-environment/scientific-studies/>;
- l) Agencia Alemana para el Medio Ambiente: <https://www.umweltbundesamt.de/>;
- m) Organismo Sueco de Productos Químicos: <https://www.kemi.se/en/chemical-substances-and-materials/highly-fluorinated-substances>;

- n) Organismo Nacional de Alimentación de Suecia: <https://www.livsmedelsverket.se/en/food-and-content/oonskade-amnen/miljogifter/pfas-in-drinking-water-fish-risk-management>;
- o) Gobierno de Queensland (Australia). Gestión Ambiental de la Espumas Ignífugas. Política Operacional: <https://www.qld.gov.au/environment/pollution/management/disasters/investigation-pfas/operational-policy>;
- p) El sitio web sobre el PFAS de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos: <https://www.epa.gov/pfas>.

2.5.2 Estado de la capacidad de control y vigilancia

128. El PFHxS es objeto de varios programas de vigilancia.
129. El Canadá vigila la presencia del PFHxS en el aire o las precipitaciones, entre las sustancias de las que se encargan la red Global Atmospheric Passive Sampling (GAPS) (vigilancia del aire desde 2009) y el Northern Contaminants Program (NCP) en el Ártico (vigilancia del aire desde 2006), y el programa Great Lakes Basin (GLB) Monitoring and Surveillance del Plan de Gestión de los Productos Químicos (vigilancia en las precipitaciones y el aire desde 2006 y 2019, respectivamente).
130. En el marco de las Encuestas Ambientales y del Banco de Muestras Ambientales, ambos de Alemania, se llevan a cabo labores de vigilancia en la sangre, concretamente en el plasma sanguíneo. Se dispone de datos sobre la tendencia temporal del PFHxS en el período 1982-2010 (Schröter-Kermani, 2013). Está en marcha un proyecto que agregará el período 2013-2019 al análisis de la tendencia temporal (información presentada por Alemania con arreglo al anexo F). En los Estados Unidos, el PFHxS se incluyó en el estudio de biomonitorización del NHANES (https://www.cdc.gov/biomonitoring/PFAS_FactSheet.html). Las PFAS, entre ellas el PFHxS, se han incluido en el Programa de Vigilancia del Medio Ambiente de Suecia (Naturvardsverket) y en el programa análogo de vigilancia de la salud de ese país (Karolinska Institutet). La presencia de PFHxS y otros compuestos perfluorados en seres humanos también es objeto de vigilancia en el Canadá, por ejemplo, en el marco del NCP en el Ártico, el Estudio de las Mediciones de la Salud del Canadá (CHMS) y la Investigación Materno-infantil de los Productos Químicos en el Medio Ambiente del Canadá (MIREC). De 2007 a 2009, de 2009 a 2011, en 2016-2017, y en 2018-2019, en el CHMS se vigiló la presencia del PFHxS en la población canadiense (Gobierno del Canadá, 2013, Haines y otros, 2017). En 2018 la Encuesta Nacional Coreana sobre Salud Ambiental (KoNEHS) comenzó a vigilar cinco tipos de PFAS, entre ellos el PFHxS (información presentada por la República de Corea en relación con el anexo F).
131. El Programa Conjunto Europeo (HBM4EU), coordinado por la Agencia Alemana para el Medio Ambiente, ha catalogado diversos productos químicos perfluorados y polifluorados como sustancias prioritarias y recopilará datos de toda la Unión Europea sobre exposición y efectos hasta 2021. En el marco de la Iniciativa Europea de Biomonitorización Humana HBM4EU se medirán los niveles séricos de PFHxS en adolescentes europeos de 12 a 19 años en toda Europa (Schoeters y otros, 2018).
132. Noruega mantiene el aire, el agua dulce, y la biota marina y terrestre, que incluye al PFHxS, bajo vigilancia anual (<http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Miljoovervakning/Naturovervakning/Giftfritt-miljo/>).
133. Hay información disponible sobre la vigilancia de las PFAS, que incluye al PFHxS, en Europa, América del Norte y Asia. A fin de hacer un seguimiento de la eficacia de las medidas que podrían adoptarse, debería añadirse el PFHxS a los programas mundiales de vigilancia de los contaminantes orgánicos persistentes que ya existen.

3. Síntesis de la información

3.1 Resumen de la información sobre el perfil de riesgo

134. En su 14ª reunión, celebrada en 2018, el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes aprobó el perfil de riesgo y llegó a la conclusión de que, era probable que el ácido perfluorohexano sulfónico (PFHxS), sus sales y los compuestos conexos del PFHxS, como resultado de su transporte a larga distancia en el medio ambiente, tuvieran efectos adversos importantes en la salud humana y el medio ambiente de modo que se justificara la adopción de medidas a nivel mundial.
135. El PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS se han usado como surfactantes, revestimientos resistentes al agua y las manchas para alfombras, papel, cuero y tejidos, y en espumas ignífugas, entre otras aplicaciones, a menudo en sustitución del PFOS. Se ha producido PFHxS de manera no intencional durante los procesos de FEQ empleados en la producción de otras PFAS, por ejemplo, el PFOS. No hay mucha información sobre la producción mundial de PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en la actualidad. En el pasado, el principal productor era la empresa 3M. Se han localizado algunos productores en China, pero los datos cuantitativos sobre su producción no están a disposición del público.

136. El PFHxS es sumamente persistente en el medio ambiente. En numerosos estudios se han constatado niveles elevados de PFHxS en el suelo, el agua y diversas biotas. Extrapolando las conclusiones relativas a la persistencia del ácido perfluorobutanosulfónico (PFBS), el PFOS y el PFOA, cabe llegar a la conclusión de que el PFHxS no es degradable en condiciones naturales y es muy persistente en el agua, el suelo y los sedimentos. Además, el ión del PFHxS es relativamente hidrosoluble y enlaza con proteínas en los organismos afectados. En vista de la bioacumulación derivada de su unión a proteínas que se ha detectado, los valores estándar de FBC y FBA en organismos acuáticos tienen menos validez como descriptores de bioacumulación en el caso de las PFAS, incluido el PFHxS. Con todo, la biomagnificación es un hecho: se han registrado factores de biomagnificación (FBM) y factores de magnificación trófica (FMT) del PFHxS superiores a 1 (intervalo de FBA: 1,4 a 48; intervalo de FMT: 0,1 a 4,3). Según las estimaciones, la semivida de eliminación sérica del PFHxS en las personas es mayor que la de otras PFAS y promedia 8,5 años (intervalo: 2,2 a 27 años).

137. El PFHxS se ha propagado mucho en el medio ambiente y la biota de todo el mundo. En los estudios realizados se ha informado de exposición a la sustancia en zonas remotas, hecho que cabe atribuir al transporte a larga distancia en el medio ambiente. Se ha detectado PFHxS en el aire, la nieve, el agua y la biota (incluidos los seres humanos) en lugares apartados. En la actualidad, el mecanismo más probable de transporte a regiones remotas como el Ártico son las corrientes oceánicas. Sin embargo, no cabe excluir el transporte atmosférico de PFHxS y sus compuestos conexos, ya que se han realizado mediciones de la sustancia en la nieve, el agua de lluvia, el aire y los líquenes. Es probable que el PFHxS y sus compuestos conexos lleguen a regiones remotas transportados por el aire y que, una vez allí, los compuestos conexos se transformen en PFHxS por degradación.

138. Los seres humanos están expuestos al PFHxS principalmente mediante la ingesta de alimentos y el agua potable, pero también en espacios cerrados por la exposición al polvo o a productos de consumo que contengan PFHxS o precursores de este. Después del PFOS y el PFOA, el PFHxS es la PFAS que se detecta con más frecuencia en las muestras de sangre de la población en general recogidas en todo el mundo. El PFHxS está presente en la sangre del cordón umbilical y en la leche materna. La leche materna puede ser una fuente importante de exposición para los lactantes, pues hay constancia de que el PFHxS se excreta por esa vía. La contaminación del agua potable puede dar lugar a un aumento muy marcado de los niveles de PFHxS en el suero debido al prolongado tiempo que demora su eliminación en los seres humanos. El uso de agua potable para la preparación de alimentos puede sumarse a los niveles de base presentes en los alimentos.

139. Se han observado diversos efectos en el hígado de roedores expuestos al PFHxS. En los roedores y los seres humanos se han observado efectos en el metabolismo de lipoproteínas y lípidos hepáticos y la alteración de los niveles séricos de colesterol, triglicéridos y lipoproteínas. En experimentos controlados de laboratorio con ratas y ratones se han observado efectos neurotóxicos y alteraciones en el desarrollo neurológico, y algunos estudios señalan una relación entre la inhibición conductual en los niños y la exposición prenatal e infantil a determinadas PFAS (incluido el PFHxS). Se han notificado efectos en el sistema hormonal tiroideo de las ratas, pero otros estudios indican que el PFHxS también podría afectar al sistema tiroideo de las aves, los osos polares y los seres humanos. Además, varios estudios epidemiológicos indican que el sistema inmunitario inmaduro y en desarrollo podría ser vulnerable a la exposición a determinadas PFAS, y al PFHxS.

140. En estudios recientes con osos polares de Svalbard (Noruega) se han detectado un aumento de los niveles de PFHxS en el plasma de esos animales. Las PFAS, incluido el PFHxS, contribuyen a los múltiples factores estresantes que afectan a los osos polares de la región, señal de que existe el riesgo de que las sustancias tengan efectos adversos en la fauna silvestre. La exposición combinada a las PFAS y otros contaminantes orgánicos persistentes tiene consecuencias desconocidas y posiblemente aumente la toxicidad en las especies sometidas a mucho estrés.

3.2 Resumen de la información sobre la evaluación de la gestión de los riesgos

141. Con la restricción o prohibición del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS se reducirían las emisiones de estas sustancias y, después, la exposición humana y ambiental, lo cual redundaría positivamente en la salud humana y el medio ambiente.

142. El PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS son sustancias sintéticas que no se dan de forma natural. El principal fabricante de ácidos perfluoroalquilsulfónicos (PFSA) de C₆, C₈ y C₁₀ era 3M, a partir de 1958 en los Estados Unidos, y desde 1971 en Bélgica, hasta 2002. Según los datos notificados, entre 1958 y 1997 la empresa fabricó unas 228 toneladas métricas anuales. Después de que 3M dejó de producir el PFHxS, su producción continuó en Italia con un fabricante que anunciaba la sustancia y sus precursores, hasta que en noviembre de 2018 se declaró en quiebra. No obstante, el grueso de la producción y el uso se ha desplazado a Asia y ha aumentado desde 2002, y hay constancia de al menos algunos fabricantes en China. Se produce y se ha producido PFHxS de manera no intencional durante procesos de fluoración electroquímica para producir otros PFSA. Algunos productos a base de PFOSF pueden contener hasta un 10 % de PFHxS en forma de impurezas no intencionales, si no se extraen para aumentar la pureza.

143. Hasta donde se sabe, el uso del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS coincide con algunas categorías de uso de compuestos del PFOS y, en ocasiones, del PFOA; y en muchas aplicaciones podría

haberse usado PFHxS o compuestos conexos del PFHxS en sustitución del PFOS y, a veces, del PFOA. Hay constancia de uso intencional, cuando menos, en las categorías siguientes: 1) EFPA ignífugas; 2) recubrimiento metálico; 3) productos textiles, cuero y tapicería; 4) abrillantadores y productos de limpieza y lavado; 5) revestimientos, impregnación y protección (contra la humedad, los hongos, etc.); y 6) fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores. Otras categorías de uso pueden ser los plaguicidas, los pirorretardantes, el papel, los envases, la industria del petróleo y los fluidos hidráulicos. Además, el PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos se han usado en determinados productos de consumo que contienen PFAS.

144. La evaluación periódica de las alternativas al PFOS en el marco del Convenio de Estocolmo ha puesto de manifiesto la existencia de alternativas para todas las aplicaciones posibles que también podrían ser válidas para el PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos. Esas alternativas son sustancias tanto fluoradas como no fluoradas, así como soluciones técnicas (no químicas). Según la información sobre la disponibilidad, la posibilidad de acceso y el precio de las alternativas, así como la información sobre medidas reglamentarias y el uso en diferentes países, se considera poco el costo socioeconómico de aplicar una prohibición del uso del PFHxS y queda compensado por los beneficios de la eliminación o la regulación. Se calcula que la rehabilitación de lugares contaminados, como aeropuertos y centros de adiestramiento en la manipulación de espumas ignífugas, ya sean antiguos o en uso, y vertederos de desechos industriales y desechos peligrosos, así como la extracción de las PFAS, incluido el PFHxS, del agua potable y las fuentes de agua contaminadas con PFHxS (y otras PFAS) tendrán un costo elevado. La aplicación de medidas de control del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS contribuiría a evitar esos costos en el futuro.

145. En todas las etapas del ciclo de vida del PFHxS se producen emisiones al medio ambiente, aunque se supone que las más elevadas tienen lugar durante su vida útil y al convertirse en desecho. El PFHxS está muy extendido en compartimentos ambientales como las aguas superficiales, las aguas profundas, el agua potable, las plantas de tratamiento de aguas residuales y los lixiviados de vertederos, los sedimentos, las aguas subterráneas, los suelos, la atmósfera, el polvo, así como la biota (incluida la fauna y flora silvestres) y los seres humanos de todo el mundo. Para reducir las concentraciones en el medio ambiente será imprescindible adoptar medidas de control eficaces en la manipulación de los desechos. Según el artículo 6 del Convenio, los desechos deberán eliminarse de un modo tal que el contenido del contaminante orgánico persistente se destruya o se transforme en forma irreversible de manera que no presente las características de contaminante orgánico persistente o, de no ser así, se eliminen en forma ambientalmente racional cuando la destrucción o la transformación irreversible no represente la opción preferible desde el punto de vista del medio ambiente o su contenido de contaminante orgánico persistente sea bajo. El limitado conocimiento que se tiene acerca del uso actual del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos y la falta de métodos analíticos normalizados para detectar y cuantificar algunos de sus compuestos conexos dificultan la detección de los compuestos presentes en productos químicos y mezclas químicas. Dada la falta de información sobre el contenido de esos compuestos en productos y artículos de consumo, será difícil separar estos productos en la corriente de desechos y durante el tratamiento de estos. En el caso de productos nuevos que se comercialicen por primera vez, debería existir la posibilidad de que el importador solicitase esa información, pero en el caso de los productos que ya están en el mercado esa tarea es más difícil. No obstante, esta situación no es exclusiva del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos, sino que se da igualmente en relación con otras PFAS ya reguladas.

3.3 Medidas de gestión de los riesgos recomendadas

146. No se ha solicitado exención alguna. En la actualidad no se dispone de información sobre la producción no intencional del PFHxS como consecuencia de la incineración, por lo que no hace falta incluirlo en el anexo C. En consecuencia, la medida de control que se recomienda para lograr la “prohibición o restricción de la producción, el uso, la importación y la exportación” es la inclusión del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el anexo A del Convenio sin exenciones.

4. Conclusión

147. Habiendo decidido que es probable que el ácido perfluorohexano sulfónico (núm. de CAS: 355-46-4, PFHxS), sus sales y los compuestos conexos del PFHxS, como resultado de su transporte a larga distancia en el medio ambiente, surtan importantes efectos perjudiciales en la salud humana y el medio ambiente que justifiquen la adopción de medidas a nivel mundial; habiendo preparado una evaluación de la gestión de los riesgos, tomando en consideración las opciones de gestión y tomando nota de la información sobre la disponibilidad de alternativas; el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes, de conformidad con el párrafo 9 del artículo 8 del Convenio, recomienda a la Conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo que examine la posibilidad de incluir el ácido perfluorohexano sulfónico (núm. de CAS: 355-46-4, PFHxS), sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el anexo A sin exenciones y de especificar las medidas de control correspondientes

Referencias

- 3M (3M Canada Company) (2015). Material Safety Data Sheet – FC-95 Fluorad Brand fluorochemical surfactant (inactive).
http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSuUn_zu8lZNU4xtxoY_BPv70kDVFNVu9lxtD7SSSSSS-- (last accessed: 4 February 2019).
- 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Co. USA) (2000a). Letter to Charles Auer. Re: Phase-out Plan for PFOSF-Based Products. U.S. EPA Administrative Record 226, No. 600 (AR226-0600).
- 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Co. USA) (2000b). Sulfonated Perfluorochemicals in the Environment: Sources, Dispersion, Fate and Effects. U.S. EPA Administrative Record 226, No. 545 (AR226-0545).
- 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Co. USA) (1981). Patent: Mist suppressant. Patent No. GB 2077765.
- AECOM, (2018). AECOM's Promising New PFAS Treatment Technology DE-FLUOROTM Shows Complete Destruction of PFAS. <https://www.aecom.com/wp-content/uploads/2018/10/PFAS-Info-Sheet.pdf>
- Ahrens L, Shoeib M, Harner T, Lee SC, Guo R, Reiner EJ (2011). Wastewater treatment plant and landfills as sources of polyfluoroalkyl compounds to the atmosphere. *Environ. Sci. Technol.* 45: 8098-8105.
- Appleman TD, Higgins CP, Quiñones O, Vanderford BJ, Kolstad C, Zeigler-Holady JC, Dickenson ER (2014). Treatment of poly- and perfluoroalkyl substances in U.S. full-scale water treatment systems. *Water Res.* 51:246-55. doi: 10.1016/j.watres.2013.10.067.
- Allred BM, Lang JR, Barlaz MA, Field JA (2014). Orthogonal zirconium diol/C18 liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis of poly and perfluoroalkyl substances in landfill leachate. *J Chromatogr A.* 1359:202-11.
- Alling V, Hartnik T, Bjærtnes O (2017). Two case studies for remediation of PFAS contaminated fire-fighting sites in Norway. *Proceedings from the Cleanup Conference 2017.* <http://www.cleanupconference.com/wp-content/uploads/2017/10/CleanUp-2017-presentations-for-downloading.pdf>.
- Arp HPH, Brown TN, Berger U, Hale SE (2017). Ranking REACH registered neutral, ionizable and ionic organic chemicals based on their aquatic persistency and mobility. *Environ. Sci. Process. Impacts* 19, 939–955.
- Arvaniti OS and Stasinaki AS (2015). Review on the occurrence, fate and removal of perfluorinated compounds during wastewater treatment. *Sci Tot Environ.* 524-525; 81-92.
- Australian Government, Department of Health (2019). Health Based Guidance Values for PFAS for use in site investigations in Australia – September 2019. <https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/ohp-pfas-hbgv.htm>.
- Ayothi R, Chang SW, Felix N, Cao HB, Deng H, Yueh W, Ober CK (2006) New PFOS free photoresist systems for EUV lithography, *Jour Photopolymer Science and Technol* 19:515-520.
- Baduel C, Mueller JF, Rotander A, Corfield J, Gomez-Ramos M-J (2017). Discovery of novel per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) at a fire fighting training ground and preliminary investigation of their fate and mobility. *Chemosphere.* 185: 1030-1038.
- Banzhaf S, Filipovic M, Lewis J, Sparrenbom CJ, Barthel R (2017). A review of contamination of surface-, ground-, and drinking water in Sweden by perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Ambio.* 46(3):335-346.
- Barzen-Hanson KA, Roberts SC, Choyke S, Oetjen K, McAlees A, Riddell N, McCrindle R, Ferguson PL, Higgins CP, Field JA (2017). Discovery of 40 Classes of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Historical Aqueous Film-Forming Foams (AFFFs) and AFFF-Impacted Groundwater. *Environ Sci Technol.* 51(4):2047-2057.
- Barzen-Hanson KA, Field JA (2015). Discovery and Implications of C 2 and C 3 perfluoroalkyl sulfonates in aqueous film-forming foams and groundwater. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2, 95-99.
<http://dx.doi.org/10.1021/acs.estlett.5b00049>.
- Bečanová J, Melymuk L, Vojta Š, Komprdová K, Klánová J (2016). Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes. *Chemosphere.* 164:322-329.
- Benskin JP, De Silva AO, Martin JW (2010). Isomer profiling of perfluorinated substances as a tool for source tracking: a review of early findings and future applications. *Rev Environ Contam Toxicol.* 208:111-60.
- Blum A, Balan SA, Scheringer M, Trier X, Goldenman G, Cousins IT, Diamond M, Fletcher T, Higgins C, Lindeman AE, Peaslee G, de Voogt P, Wang Z, Weber R. The Madrid Statement on poly and perfluoroalkyl substances (PFASs). *Environ Health Perspect* 2015, 123(5), A107–A111.

- Boiteux V, Dauchy X, Rosin C, Munoz JF (2012). National screening study on 10 perfluorinated compounds in raw and treated tap water in France. *Arch Environ Contam Toxicol* 63(1):1-12.
- Boone JS, Vigo C, Boone T, Byrne C, Ferrario J, Benson R, Donohue J, Simmons JE, Kolpin DW, Furlong ET, Glassmeyer ST (2019). Per- and polyfluoroalkyl substances in source and treated drinking waters of the United States. *Sci Total Environ*. 653:359-369. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.245.
- Boucher JM, Cousins IT, Scheringer M, Hungerbühler K, Wang Z (2019). Toward a Comprehensive Global Emission Inventory of C₄–C₁₀ Perfluoroalkanesulfonic Acids (PFASs) and Related Precursors: Focus on the Life Cycle of C₆- and C₁₀-Based Products. *Environmental Science & Technology Letters* 2019 6 (1), 1-7.
- Bräunig J, Baduel C, Barnes CM, Mueller JF (2019). Leaching and bioavailability of selected perfluoroalkyl acids (PFAAs) from soil contaminated by firefighting activities. *Sci Total Environ*. 646:471-479. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.231.
- Buck RC, Franklin J, Berger U, Conder JM, Cousins IT, de Voogt P, Jensen AA, Kannan K, Mabury SA, van Leeuwen SP (2011). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integr Environ Assess Manag*. 7(4):513-41.
- CRC CARE (2017) Assessment, management and remediation guidance for perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) – Part 5: management and remediation of PFOS and PFOA, CRC CARE Technical Report no. 38, CRC for Contamination Assessment and Remediation of the Environment, Newcastle, Australia.
- Campbell TY, Vecitis CD, Mader BT, Hoffmann MR (2009). Perfluorinated surfactant chain-length effects on sonochemical kinetics. *J Phys Chem A*.10;113 (36):9834-42.
- Chen M, Wang Q, Shan G, Zhu L, Yang L, Liu M (2018). Occurrence, partitioning and bioaccumulation of emerging and legacy per- and polyfluoroalkyl substances in Taihu Lake, China. *Sci Total Environ*. 5;634: 251-259.
- Cordner A, Richter L, Brown P (2016) Can chemical class approaches replace chemical-by-chemical strategies? Lessons from *Environ Sci Technol* 50:12584-12591.
- Cordner A, Richter L, Brown P (2016). Can Chemical Class Approaches Replace Chemical-by-Chemical Strategies? Lessons from Recent U.S. FDA Regulatory Action on Per- And Polyfluoroalkyl Substances. *Environ Sci Technol*. 50 (23):12584-12591.
- Cordner A., De La Rosa V.Y., Schaider L.A., Rudel R.A., Richter L., and Brown P. (2019). Guideline Levels for PFOA and PFOS in Drinking Water: The Role of Scientific Uncertainty, Risk Assessment Decisions, and Social Factors//*J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2019 March; 29(2): 157–171. doi:10.1038/s41370-018-0099-9.
- Cui Q, Pan Y, Zhang H, Sheng N, Dai J (2018). Elevated concentrations of perfluorohexanesulfonate and other per- and polyfluoroalkyl substances in Baiyangdian Lake (China): Source characterization and exposure assessment. *Environ Pollut*. 241:684-691.
- D'Agostino LA, Mabury SA (2017). Certain Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances Associated with Aqueous Film Forming Foam Are Widespread in Canadian Surface Waters. *Environ Sci Technol*. 5; 51 (23):13603-13613.
- D'Agostino LA and Mabury SA (2014). Identification of novel fluorinated surfactants in aqueous film forming foams and commercial surfactant concentrates. *Environ. Sci. Tech*. 48, 121-129.
- Dainippon (Dainippon Ink and Chemicals, Inc., Japan) (1988). Patent: N-(dihydroxypropyl) perfluoroalkanecarbonamide and -sulfonamide derivatives as antifogging agents. Patent No. JP63208561.
- Dainippon (Dainippon Ink and Chemicals, Inc., Japan) (1979). Patent: Prevention of mist formation over plating baths. Patent No. JP54076443.
- Danish Environmental Protection Agency (2015). Alternatives to perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in textiles. Available from: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/05/978-87-93352-16-2.pdf>.
- Denmark Lovtidene A. (20 June 2018). Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. PFAS12 = (PFBS, PFHxS, PFOS, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA and PFDA, PFOSA). Lovtidene A 30 of June 2018: https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Vejledninger/Fodervejledningen/Lovgivning/Drikkevandsbekendtg%C3%B8relsen_975_2018.pdf.
- Denmark (2015). Miljø og fødevarerministeriet, Fødevarerstyrelsen. Fluorerede stoffer i fødevarerkontaktmaterialer (FKM) af pap og papir. April 2018. (In Danish only). <https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Kemi%20og%20foedevarekvalitet/FKM/Notat-graensevaerdiforslag-for-fluorstoffer-i-papir-og-pap-emballage-FINAL.pdf> <https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Kemi%20og%20foedevarekvalitet/FKM/Fakta%20ark%20fluorerede%20stoffer.pdf>.

Denmark, 2014. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen. Miljøprojekt nr. 1600. Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS-forbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder. (In Danish only). Available at : <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2014/10/978-87-93178-96-0.pdf>.

D' Hollander W, Herzke D, Huber S, Hajslova J, Pulkrabova J, Brambilla G, De Filippis SP, Bervoets L, de Voogt P (2015). Occurrence of perfluorinated alkylated substances in cereals, salt, sweets and fruit items collected in four European countries. *Chemosphere* 129: 179–185.

ECHA (2019a). Registry of restriction intentions until outcome. Perfluorohexane-1-sulphonic acid, its salts and related substances. <https://echa.europa.eu/sv/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e1827f87da>.

ECHA (2019b). Annex XV report. Proposal for restriction of perfluorohexane-1-sulphonic acid, its salts and related substances. <https://echa.europa.eu/documents/10162/7722f470-1f29-8caa-c270-5149ad0df076>.

ECHA (2019c). ANNEX XV RESTRICTION REPORT. PROPOSAL FOR A RESTRICTION. Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS) including its salts and precursors. <https://echa.europa.eu/documents/10162/a22da803-0749-81d8-bc6d-ef551fc24e19>.

ECHA (2018). Registry of restriction intentions until outcome, RAC and SEAC opinion for C9-C14 PFCAs. Available at: <https://echa.europa.eu/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18195edb3>.

ECHA (2017a). Member state committee support document for the identification of perfluorohexane-1-sulphonic acid and its salts as substances of very high concern because of their vPvB (Article 57 E) properties. (<https://echa.europa.eu/documents/10162/40a82ea7-dcd2-5e6f-9bff-6504c7a226c5>). Last accessed 04 October 2017.

ECHA (2017b) Strategy to promote substitution to safer chemicals through innovation. https://echa.europa.eu/documents/10162/2792271/mb_58_2017_2_annex_strategy_substitution_safer_alternatives_en.pdf/d1c31c63-4047-e7be-75d1-12320a4a8489.

ECHA (2015). Committee for Risk Assessment (RAC) Committee for Socio-economic Analysis (SEAC) Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related substances. Available at: <https://echa.europa.eu/documents/10162/d5edcc90-ac86-64ed-11c1-3daeb14fad89>.

ECHA. <https://echa.europa.eu/data-to-prevent-regrettable-substitution>.

ECHA CoRAP list. <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/evaluation/community-rolling-action-plan/corap-table>.

EFSA 2012. European Food Safety Authority; Perfluoroalkylated substances in food: occurrence and dietary exposure. *EFSA Journal* 2012; 10(6):2743. (55 pp.) doi:10.2903/j.efsa.2012.2743. Available online: www.efsa.europa.eu/efsajournal.

Environment Canada (2013). Search Engine for the Results of DSL Categorization. Environment Canada, Gatineau, Quebec, Canada. (<http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=En&n=5F213FA8-1&wsdoc=D031CB30-B31B-D54C-0E46-37E32D526A1F>). Last accessed 16 May 2017.

Eriksson U, Haglund P, Kärman A (2017). Contribution of precursor compounds to the release of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from waste water treatment plants (WWTPs). *J. Environ Sciences* 61: 80-90.

Ericson I, Domingo JL, Nadal M, Bigas E, Llebaria X, van Bavel B, Lindström G (2009). Levels of Perfluorinated Chemicals in Municipal Drinking Water from Catalonia, Spain: Public Health Implications. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 57(4):631-638.

Eurofeu, (2018). Presentation during POPRC-14: "Fire fighting Foam is needed to fight Flammable Liquid Fires in High Risk Applications.

Europe (2018). (http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/pdf/revised_drinking_water_directive_annex.pdf). RECAST (01.02.18): "The proposal is to regulate the group of PFASs, as defined by the OECD, and to suggest values of 0.1 µg/L for individual PFAS and 0.5 µg/L for PFASs in total, as is done for pesticides. As these values are higher than those referred to in Sweden or the United States, it should be feasible to meet them https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8c5065b2-074f-11e8-b8f5-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF. http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/review_en.html.

EWG's Tap Water Database. <https://www.ewg.org/research/update-mapping-expanding-pfas-crisis>.

Favreau P, Poncioni-Rothlisberger C, Place BJ, Bouchex-Bellomie H, Weber A, Tremp J, Field JA, Kohler M (2017). Multianalyte profiling of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in liquid commercial products. *Chemosphere* 171: 491-501.

Food Standards Australia New Zealand 2016. Occurrence of perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorohexane sulfonate (PFHxS) in foods and water sampled from contaminated sites.

- [https://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/2200FE086D480353CA2580C900817CDC/\\$File/Occurrence-data-report.pdf](https://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/2200FE086D480353CA2580C900817CDC/$File/Occurrence-data-report.pdf).
- FFFC (2017). Fact sheet on AFFF fire-fighting foam.
https://docs.wixstatic.com/ugd/331cad_fa5766eb867b4a5080330ce96db195fa.pdf.
- FFFC (2016). Fire Fighting Foam Coalition. Best Practice Guidance for Use of Class B Fire Fighting Foams. Available at: <https://fluorocouncil.com/wp-content/uploads/2017/06/bestpracticeguidance.pdf>.
- Fluorocouncil (2015). Fluorotechnology Is Critical to Modern Life: The FluoroCouncil Counterpoint to the Madrid Statement. Environmental Health Perspectives. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1509910>.
- Fromme H, Wöckner M, Roscher E, Völkel W (2017). ADONA and perfluoroalkylated substances in plasma samples of German blood donors living in South Germany. *Int J Hyg Environ Health*. 220(2 Pt B):455-460. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.12.014.
- Fu J, Gao Y, Wang T, Liang Y, Zhang A, Wang Y, Jiang G (2015). Elevated levels of perfluoroalkyl acids in family members of occupational workers: the implication of dust transfer. *Sci. Rep.* 5, 9313.
- Gebbink WA, van Asseldonk L, van Leeuwen SPJ (2017). Presence of Emerging Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in River and Drinking Water near a Fluorochemical Production Plant in the Netherlands. *Environ Sci Technol*. 51(19):11057-11065.
- Gebbink WA, Glynn A, Darnerud PO, Berger U (2015). Perfluoroalkyl acids and their precursors in Swedish food: The relative importance of direct and indirect dietary exposure. *Environ Pollut*. 198:108-15.
- Ghisi R, Vameralia T, Manzetti S (2019). Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review. *Environmental Research* 169 (2019) 326–341
- Gao Y, Fu J, Cao H, Wang Y, Zhang A, Liang Y, Wang T, Zhao C, Jiang G (2015). Differential accumulation and elimination behavior of perfluoroalkyl Acid isomers in occupational workers in a manufactory in China. *Environ Sci Technol*. 49(11):6953-62.
- Gobelius L, Hedlund J, Dürig W, Tröger R, Lilja K, Wiberg K, Ahrens L (2018). Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Swedish Groundwater and Surface Water: Implications for Environmental Quality Standards and Drinking Water Guidelines. *Environ. Sci. Technol*. 2018, 52, 4340–4349.
- Gomis MI, Vestergren R, Borg D, Cousins IT (2018). Comparing the toxic potency in vivo of long-chain perfluoroalkyl acids and fluorinated alternatives. *Environ Int*. 113: 1–9.
- Government of Canada, (2018). Drinking Water Screening Values: Perfluoroalkylated Substances. <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/publications/healthy-living/water-talk-drinking-water-screening-values-perfluoroalkylated-substances/water-talk-drinking-water-screening-values-perfluoroalkylated-substances-eng.pdf>.
- Government of Canada. (2013). Second Report on Human Biomonitoring of Environmental Chemicals in Canada: Results of the Canadian Health Measures Survey Cycle 2 (2009-2011). <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/environmental-contaminants/second-report-human-biomonitoring-environmental-chemicals-canada-health-canada-2013.html>.
- Gramstad T, Haszeldine RN (1957). 512. Perfluoroalkyl Derivatives of Sulphur. Part VI. Perfluoroalkanesulfonic Acids $CF_3[CF_2]_nSO_3H$ ($n = 1-7$). *Journal of the Chemical Society*, 2640–2645. <https://doi.org/10.1039/JR9570002640>.
- Guelfo JL, Higgins CP (2013). Subsurface transport potential of perfluoroalkyl acids at aqueous film-forming foam (AFFF)-impacted sites. *Environ Sci Technol*. 7;47(9):4164-71.
- Haines DA, Saravanabhavan G, Werry K, Khoury C (2017). An overview of human biomonitoring of environmental chemicals in the Canadian Health Measures Survey: 2007–2019. *Int J Hyg Environ Health*. 220: 13-28.
- Hamid H, Li LY, Grace JR (2018). Review of the fate and transformation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in landfills. *Environ Poll*. 235: 74-84.
- Herzke D, Huber S, Bervoets L, D' Hollander W, Hajslova J., Pulkrabova J, Brambilla G, De Filippis SP, Klenow S, Heinemeyer G (2013). Perfluorinated alkylated substances in vegetables collected in four European countries; occurrence and human exposure estimations. *Environ. Sci. Pollut. Res*. 20: 7930–7939.
- Herzke D, Olsson E, Posner S (2012). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in consumer products in Norway - a pilot study. *Chemosphere*. 88: 980-987.
- Hengxin (Hubei Hengxin Chemical Co., Ltd) (2019). Products (HX-601, HX-168). http://www.fluoride-cn.com/product_en.html (last accessed: 2 January 2019).

- Hengxin (Hubei Hengxin Chemical Co., Ltd) (2015). Patent: Chromium fog inhibitor tetraethyl ammonium perfluorohexanesulfonate and its preparation method. Patent No. CN 104611733.
- Hill PJ, Taylor M, Goswami P, Blackburn RS (2017). Substitution of PFAS chemistry in outdoor apparel and the impact on repellency performance. *Chemosphere* 181:500-507.
- Hu XC, Andrews DQ, Lindstrom AB, Bruton TA, Schaidler LA, Grandjean P, Lohmann R, Carignan CC, Blum A, Balan SA, Higgins CP, Sunderland EM (2016). Detection of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) in U.S. Drinking Water Linked to Industrial Sites, Military Fire Training Areas, and Wastewater Treatment Plants. *Environ Sci Technol Lett.* 3(10):344-350.
- Huang, J, Gang Y, Mei S (2015). PFOS in China: production, application & alternatives. <http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-SUBM-GUID-TGsPOPsWastes-PFOS-UNEPChemicals-RefJunHuangChina-201310.English.pdf&usg=AOvVaw19j7yN3fLiroc5gNmrnaKn> (last accessed: 4 February 2019) .
- H. Vermont (Health Vermont). <http://www.healthvermont.gov/environment/drinking-water/perfluoroalkyl-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas-drinking-water>.
- IPEN, 2018. Fluorine-free firefighting foams (3F) viable alternatives to fluorinated aqueous film-forming foams (AFFF). <https://ipen.org/documents/fluorine-free-firefighting-foams>.
- IPEN Annex F information concerning Washington ban on PFAS in food-contact materials. <http://apps2.leg.wa.gov/billsummary?BillNumber=2658&Year=2017&BillNumber=2658&Year=2017>.
- Jiang, W, Zhang Y, Yang L, Chu X, Zhu L (2015). Perfluoroalkyl acids (PFAAs) with isomer analysis in the commercial PFOS and PFOA products in China. *Chemosphere*, 127, 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.01.049>.
- Kaboré HA, Vo Duy S, Munoz G, Méité L, Desrosiers M, Liu J, Sory TK, Sauvé S (2018). Worldwide drinking water occurrence and levels of newly-identified perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances. *Sci Total Environ.* 616-617: 1089-1100.
- Karolinska Institutet, Sweden. <http://ki.se/en/imm/health-related-environmental-monitoring-hami>.
- KemI (2018). <https://www.kemi.se/en/news-from-the-swedish-chemicals-agency/2018/the-swedish-chemicals-agency-is-introducing-a-requirement-to-report-pfass-to-the-products-register/>.
- KemI (2018b). PFASs in the action plan for a toxic-free everyday environment Report 7/18. Selected parts of report 6/17. <https://www.kemi.se/global/rapporter/2018/report-7-18-pfass-in-the-action-plan-for-a-toxic-free-everyday-environment.pdf>.
- KemI (2016). Förslag till nationella regler för högfluorerade ämnen i brandsläckningsskum (In Swedish only). Rapport 1/16. ISSN 0284-1185.
- KemI (2015). Chemical analysis of selected fire-fighting foams on the Swedish market 2014. PM 6/15.
- KemI (2014). <https://www.kemi.se/kemiska-amnen-och-material/hogfluorerade-amnen-pfas/pfas-natverk> (In Swedish only).
- Keutel K, Koch M (2016) Untersuchung fluortensidfreier Löschmittel und geeigneter Lösungsverfahren zur Bekämpfung von Bränden häufig verwendeter polarer (d. h. schaumzerstörender) Flüssigkeiten. 187, date: February 2016. Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge, Abteilung Forschung - Institut der Feuerwehr -. Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer A.V.A.F., Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. Available (in German only) at: <https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/forschung-idf/publikationen/>.
- Kim M, Li LY, Grace JR, Yue C (2015). Selecting reliable physicochemical properties of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) based on molecular descriptors. *Environ Pollut.* 196:462-72.
- Kosswig K (2000). Sulfonic Acids, Aliphatic. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 7th ed. (1999-2015). New York, NY: John Wiley & Sons. Online Posting Date: Jun 15, 2000.
- Kotthoff M and Bücking M (2018). Four chemical trends will shape the next decade's direction in perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substance research. *Front. Chem* 05 April. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00103>.
- Kotthoff M, Müller J, Jüriling H, Schlummer M, Fiedler D (2015). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in consumer products. *Environ Sci Pollut Res Int.* 22(19):14546-59.
- LASTFIRE (2018). New foam testing. *Hemmingfire, Industrial Fire Journal* 2018 Q3. Available at: https://issuu.com/hemminggroup/docs/ifj_q3_2018?e=29780894/64572047.
- Li Y, Fletcher T, Mucs D, Scott K, Lindh CH, Tallving P, Jakobsson K (2018). Half-lives of PFOS, PFHxS and PFOA after end of exposure to contaminated drinking water. *Occup Environ Med.* 75(1):46-51.

- Lin A Y-C, Panchangam SC, Ciou P-S (2010). High levels of perfluorochemicals in Taiwan's wastewater treatment plants and downstream rivers pose great risk to local aquatic ecosystems. *Chemosphere*, 80, 1167–1174.
- Lin A Y-C, Panchangam SC, Lo C-C (2009). The impact of semiconductor, electronics and optoelectronic industries on downstream perfluorinated chemical contamination in Taiwanese rivers. *Environmental Pollution* 157: 1365–1372.
- Liu Y, Zhang Y, Li J, Wu N, Li W, Niu Z. (2019). Distribution, partitioning behavior and positive matrix factorization-based source analysis of legacy and emerging polyfluorinated alkyl substances in the dissolved phase, surface sediment and suspended particulate matter around coastal areas of Bohai Bay, China. *Environ Pollut.* 246:34-44.
- Lofstedt Gilljam J, Leonel J, Cousins IT, Benskin JP (2016). Is Ongoing Sulfluramid Use in South America a Significant Source of Perfluorooctanesulfonate (PFOS)? Production Inventories, Environmental Fate, and Local Occurrence. *Environ. Sci. Technol.* 50, 653–659.
- Ma X, Shan G, Chen M, Zhao J, Zhu L (2018). Riverine inputs and source tracing of perfluoroalkyl substances (PFASs) in Taihu Lake, China. *Sci Total Environ.* 15; 612:18-25.
- Mass. Gov. <https://www.mass.gov/service-details/per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas-in-drinking-water>
- McCleaf P, Englund S, Ostlund A, Lindegren K, Wiberg K, Ahrenz L (2017). Removal efficiency of multiple poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water using granular activated carbon (GAC) and anion exchange (AE) column tests. *Water Research* 120: 77-87.
- MDH (Minnesota Department of Health). <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/hazardous/topics/pfcshealth.pdf>.
- MIL-F-24385 is a U.S. Military Test Specification that critically tests AFFFs for both extinguishment and burnback in sea and potable (fresh) water: Available at: <https://www.firefightingfoam.com/knowledge-base/international-standards/mil-f-24385/>.
- Mak Y L, Taniyasu S, Yeung LWY, Lu G, Jin L, Lam PKS, Kannan K, Yamashita N (2009). Perfluorinated compounds in tap water in China and several other countries. *Environ. Sci. Technol.* 2009, 43, 4824–4829.
- Miteni. Perfluorinated derivatives <http://www.miteni.com/Products/perfluorinatedde.html> (accessed February 12, 2018).
- Naturvårdsverket, Sweden: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Miljogiftssamordning/>.
- Naturvårdsverket, Sweden (2019) NATURVÅRDSVERKET RAPPORT 6871. Vägledning om att riskbedöma och åtgärda PFAS-föreningar inom förorenade områden. <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6871-4.pdf?pid=24088>. (In Swedish with English summary).
- NCM, Nordic Council of Ministers (2019). The cost of inaction: A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS. *TemaNord*, ISSN 0908-6692; 2019:516. Available at: <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1295959/FULLTEXT01.pdf>.
- Neumann M, Sättler D, Vierlke L, Schliebner I (2017). A proposal for criteria and an assessment procedure to identify Persistent, Mobile and Toxic (PM or PMT) substances registered under REACH, in Oral Presentation at the 16th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment (ICCE) (Oslo).
- NICNAS (2017a). NICNAS IMAP Environment Tier II Assessment for Direct Precursors to Perfluoroheptanesulfonate (PFHpS), Perfluorohexanesulfonate (PFHxS) and Perfluoropentanesulfonate (PFPeS) <https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessments/tier-ii-environment-assessments/direct-precursors-to-perfluoroheptanesulfonate-pfhps,-perfluorohexanesulfonate-pfhxs-and-perfluoropentanesulfonate-pfpes>.
- NICNAS (2017b). NICNAS IMAP HUMAN HEALTH TIER II ASSESSMENT FOR Perfluoroalkane sulfonates (PFSA) (C₅-C₇) and their direct precursors https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-group-assessment-report?assessment_id=444.
- NICNAS (2017c). HUMAN HEALTH TIER II ASSESSMENT FOR Indirect precursors of perfluoroalkane sulfonic acids (PFSA) (C₅-C₇). https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-group-assessment-report?assessment_id=1809.
- NICNAS (2017d). Environment Tier II Assessment for Indirect Precursors to Perfluoroalkyl Sulfonates <https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessments/tier-ii-environment-assessments/indirect-precursors-to-perfluoroalkyl-sulfonates>.

- Noorlander CW, J. van Leeuwen SP, Dirk te Biesebeek J, Mengelers MJB, Zeilmaker MJ (2011). Levels of Perfluorinated Compounds in Food and Dietary Intake of PFOS and PFOA in The Netherlands. *J. Agric. Food Chem.* 2011, 59, 7496–7505.
- Norwegian Environment Agency (2017). Screening program 2017. Selected PBT compounds. Report M-806/2017 <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M806/M806.pdf>.
- Norwegian Environment Agency (2018). Investigation of sources to PFHxS in the environment. Report M-961/2018 <http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2018/Februar-2018/Investigation-of-sources-to-PFHxS-in-the-environment/>.
- OECD (2018). TOWARD A NEW COMPREHENSIVE GLOBAL DATABASE OF PER- AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES (PFASs): SUMMARY REPORT ON UPDATING THE OECD 2007 LIST OF PER- AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES (PFASs). ENV/JM/MONO(2018)7. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV-JM-MONO\(2018\)7&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV-JM-MONO(2018)7&doclanguage=en).
- OECD (2015). Risk reduction approaches for PFASs a cross-country analysis. https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/Risk_Reduction_Approaches%20for%20PFASS.pdf.
- OECD (2013). OECD/UNEP Global PFC Group, Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs), Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD. Available at: https://www.oecd.org/env/ehs/risk-management/PFC_FINAL-Web.pdf.
- Oosterhuis F, Brouwer R., Janssen M., Verhoeven J, Luttikhuisen C. (2017). Towards a proportionality assessment of risk reduction measures aimed at restricting the use of persistent and bioaccumulative substances, Integrated Environmental Assessment and Management banner, 13 (6) 1100-1112.
- Olsen GW, Burriss JM, Ehresman DJ, Froehlich JW, Seacat AM, Butenhoff JL, Zobel LR (2007). Half-life of serum elimination of perfluorooctanesulfonate, perfluorohexanesulfonate, and perfluorooctanoate in retired fluorochemical production workers. *Environ Health Perspect.* 115(9):1298-305.
- Pan Y, Zhang H, Cui Q, Sheng N, Yeung LWY, Sun Y, Guo Y, Dai J (2018). Worldwide Distribution of Novel Perfluoroether Carboxylic and Sulfonic Acids in Surface Water. *Environ Sci Technol.* 52(14):7621-7629.
- Park H, Choo G, Kim H, Oh JE (2018). Evaluation of the current contamination status of PFASs and OPFRs in South Korean tap water associated with its origin. *Sci Total Environ.* 1; 634:1505-1512.
- Patent US20080196908: <https://patents.google.com/patent/US20080196908>.
- Poulsen PB, Gram LK, AA Jenssen (2011). Substitution of PFOS for use in nondecorative hard chrome plating. Environmental Project No. 1371, Danish Ministry of Environment.
- Queensland Government, Australia (2018). Environmental Management of Firefighting Foam-Operational Policy. Updated 2 May 2018. <https://www.qld.gov.au/environment/pollution/management/disasters/investigation-pfas/operational-policy>.
- Queensland Gov., Australia (2016). Operational Policy 07 July 2016. Department of Environmental & Science www.DES.qld.gov.au ABN 46 640 294 485. Environmental Management of Firefighting Foam_ https://www.qld.gov.au/data/assets/pdf_file/0025/68470/firefighting-foam-policy.pdf.
- Ramsden N, (2018). Large scale foam testing. Hemmingfire, *Industrial Fire Journal* 2018 Q3. Available at: https://issuu.com/hemminggroup/docs/ifj_q1_2018?e=29780894/59376615.
- Ramsden N, LASTFIRE (2017). The evolution of fire fighting foams. How did we get where we are today? Available at: <http://www.lastfire.co.uk/uploads/Foam%20Summit/1.%20Foam%20development.pdf>.
- REACH regulation. <https://echa.europa.eu/da/regulations/reach/legislation>.
- Ren, Xin. (2016). China - Reduction and Phase-out of Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS) in Priority Sectors Project: environmental assessment: Environmental auditing report for Hubei Hengxin Chemical Co., Ltd (English). China: s.n. <http://documents.worldbank.org/curated/en/779711473149049019/Environmental-auditing-report-for-Hubei-Hengxin-Chemical-Co-Ltd>.
- Ritscher A, Wang Z, Scheringer M, Boucher JM, Ahrens L, Berger U, Bintein S, Bopp SK, Borg D, Buser AM, Cousins I, DeWitt J, Fletcher T, Green C, Herzke D, Higgins C, Huang J, Hung H, Thomas Knepper, Lau CS, Leinala E, Lindstrom AB, Liu J, Miller M, Ohno K, Perkola N, Shi Y, Haug LS, Trier X, Valsecchi S, van der Jagt K, Vierke L (2018). Zurich statement on future actions on per- and perfluoroalkyl substances (PFASs), *Environ Health Perspect* 126, <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/full/10.1289/EHP4158>.
- Rotander A, Karrman A, Toms L-ML, Aylward L, Kay M, Mueller JF, Ramos MJG. (2015a). Novel fluorinated surfactants tentatively identified in firefighters using liquid chromatography quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry and case-control approach. *Environ. Sci. Technol.* 49, 2434-2442.

Rotander A, Toms L-ML, Aylward L, Kay M, Mueller JF. (2015b). Elevated levels of PFOS and PFHxS in firefighters exposed to aqueous film forming foam (AFFF). *Environment International* 82, 28–34.

RPA, (2019). Risk & Policy Analysts (RPA) and Arche Consulting. Socio-Economic assessment of PFHxS and PFHxS-related substances. Norwegian Environment Agency, M-1388/2019. Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2019/mai/socio-economic-assessment-of-pfhxs-and-pfhxs-related-substances/>.

Schellenberger S, Gillgard P, Stare A, Hanning A, Levenstam O, Roos S, Cousins IT (2018). Facing the rain after the phase out: Performance evaluation of alternative fluorinated and non-fluorinated durable water repellents for outdoor fabrics. *Chemosphere* 193:675-684.

Schellenberger S, Hill PJ, Levenstam O, Gillgard P, Cousins IT, Taylor M, Blackburn RS (2019). Highly fluorinated chemicals in functional textiles can be replaced by re-evaluating liquid repellency and end-user requirements. *Journal of Cleaner Production* 217: 134-143.

Schröter-Kermani C, Müller J, Jüriling H, Schulte CCA (2013). Retrospective monitoring of perfluorocarboxylates and perfluorosulfonates in human plasma archived by the German Environmental Specimen Bank, *International journal of hygiene and environmental health*. 216: Nr.6, 633-640. DOI: 10.1016/j.ijheh.2012.08.004.

Schoeters et al., (2018). Initial report on strategies adopted to align studies across Europe and preliminary results Deliverable Report D8.4 WP8 - Targeted field work surveys and alignment at EU level: accessible at: <https://www.hbm4eu.eu/deliverables/>.

Schwarzenbach RP, Gschwend PM, Imboden DM. (2002). *Environmental Organic Chemistry*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-471-35750-6.

SPIN (Substances in Preparations in Nordic Countries), 2018. <http://www.spin2000.net/spinmyphp/> (last accessed: 9 January 2018).

Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Technical Paper on the Identification and Assessment of Alternatives to the Use of Perfluorooctane Sulfonic Acid in Open Applications. UNEP/POPS/POPRC.8/INF/17/Rev.1 (2012).

Strynar M, Dagnino S, McMahan R, Liang S, Lindstrom A, Andersen E, McMillan L, Thurman M, Ferrer I, Ball C (2015). Identification of novel perfluoroalkyl ether carboxylic acids (PFECAs) and sulfonic acids (PFESAs) in natural waters using accurate mass time-of-flight mass spectrometry (TOF-MS). *Environ. Sci. Technol.* 49, 11622-11630.

Sweden (2018). National Food Agency, Sweden. PFAS in drinkingwater and fish- risk management: https://www.livsmedelsverket.se/en/food-and-content/oonskade-amnen/miljogifter/pfas-in-drinking-water-fish-risk-management?_t_id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCf%3d%3d&_t_q=pfas&_t_tags=language%3aen%2csiteid%3a67f9c486-281d-4765-ba72-ba3914739e3b&_t_ip=192.121.89.1&_t_hit.id=Livs_Common_Model_PageTypes_ArticlePage/_b02f793a-d9b8-4377-828e-105b4156bc5b_en&_t_hit.pos=1.

Tian Y, Yao Y, Chang S, Zhao Z, Zhao Y, Yuan X, Sun H (2018). Occurrence and phase distribution of neutral and ionizable per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in the atmosphere and plant leaves around landfills: a case study in Tianjin, China. *Environ. Sci. Technol.* 52 (3), 1301–1310.

Trinkwasserkommission, Germany (2017). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/fortschreibung_der_uba-pfc-bewertungen_bundesgesundheitsbl_2017-60_s_350-352.pdf.

Tyco Patent Application (2014). Perfluoroalkyl composition with reduced chain length, WO 2014144988 A2. Available at: <https://patents.google.com/patent/WO2014144988A2/en>.

UN Environment (United Nations Environment Programme) (2019). General technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs) under the Basel Convention UNEP/CHW.14/7. Tab 4.

UN Environment (United Nations Environment Programme) (2016). Consolidated guidance on alternatives to perfluorooctane sulfonic acid and its related chemicals. UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1.

UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017). Proposal to list perfluorohexane sulfonic acid (CAS No. 355-46-4, PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds in Annexes A, B and/or C to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.13/4.

UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017). Decision POPRC-13/3: Perfluorohexane sulfonic acid (CAS No. 355-46-4, PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds, Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.13/3.

- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017). Risk management evaluation on pentadecafluorooctanoic acid (CAS No. 335-67-1, PFOA, perfluorooctanoic acid), its salts and PFOA-related compounds, Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.13/7/Add.2.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Process for the evaluation of perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride pursuant to paragraphs 5 and 6 of part III of Annex B to the Stockholm Convention. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/4.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Additional information on perfluorohexane sulfonic acid (CAS No. 355-46-4, PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds. Decision; UNEP/POPS/POPRC.14/2.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Evaluation of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS), its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride (PFOSF) pursuant to paragraphs 5 and 6 of part III of Annex B to the Stockholm Convention. Decision; UNEP/POPS/POPRC.14/3
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Draft report on the assessment of alternatives to perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/INF/8.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Draft report on the assessment of alternatives to perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/INF/8/Add.1
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018) Draft risk profile for Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds, Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/6/Add.1.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Addendum to the risk management evaluation on perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/6/Add.2.
- UN Environment (2017a). Draft revised guidance for the inventory of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and related chemicals listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.
<http://chm.pops.int/Implementation/NationalImplementationPlans/GuidanceArchive/GuidancefortheinventoryofPFOS/tabid/3169/Default.aspx>.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017b). Guidance on best available techniques and best environmental practices for the use of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and related chemicals listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017c). Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride.
<http://www.basel.int/Implementation/POPsWastes/TechnicalGuidelines/tabid/5052/Default.aspx>
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2007). Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.
- UNIDO (2007). Non-combustion technologies for POPs destruction: Review and evaluation. United Nations Industrial Development Organization, eds Sergey Zinoviev, Paolo Fornasiero, Andrea Lodolo, Stanislav Miertus.
- U.S. Air Force (2017). AFFF disposals STTR. Available at: <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/1254657>.
- U.S. National Research Council (2014) A framework to guide selection of chemical alternatives, Committee on the Design and Evaluation of Safer Chemical Substitutions: A framework to inform government and industry decision; Board on Chemical Sciences and Technology; Board on Environmental Studies and Toxicology; Division on Earth and Life Studies, National Academies Press, 2014 Oct 29 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK253970/>.
- U.S. Congress (2018) An Act to provide protections for certain sports medicine professionals, to reauthorize Federal aviation programs, to improve aircraft safety certification processes, and for other purposes, HR302.
<https://www.congress.gov/115/bills/hr302/BILLS-115hr302enr.pdf>
- United States Government (2007). Perfluoroalkyl Sulfonates; Significant New Use Rule. *Federal Register*, 72(194), pp 57222-57235.

- United States Government (2002). Perfluoroalkyl Sulfonates; Significant New Use Rule. *Federal Register*, 67(236), pp 72854-72867.
- U.S. EPA (2019). <https://www.epa.gov/pfas>.
- U.S. EPA (2017). The Third Unregulated Contaminant Monitoring Rule (UCMR 3): Data Summary, January 2017_ <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-02/documents/ucmr3-data-summary-january-2017.pdf>.
- U.S. EPA (2013). Perfluoroalkyl Sulfonates and Long-Chain Perfluoroalkyl Carboxylate Chemical Substances; Final Significant New Use Rule. Published on 22 October 2013. <https://www.federalregister.gov/documents/2013/10/22/2013-24651/perfluoroalkyl-sulfonates-and-long-chain-perfluoroalkyl-carboxylate-chemical-substances-final>.
- U.S. EPA (2009). Long-Chain Perfluorinated Chemicals (PFCs) Action Plan. United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA. Accessed 10 December 2014 at <http://www.epa.gov>.
- von der Trenck KT, Konietzka R, Biegel-Engler A, Brodsky J, Hädicke A, Quadflieg A, Stockerl R, and Stahl T (2018). Significance thresholds for the assessment of contaminated groundwater: perfluorinated and polyfluorinated chemicals. *Environmental Sciences Europe* 30(1):19.
- Wang Z, Boucher JM, Scheringer M, Cousins IT, Hungerbühler K (2017). Toward a Comprehensive Global Emission Inventory of C(4)-C(10) Perfluoroalkanesulfonic Acids (PFASs) and Related Precursors: Focus on the Life Cycle of C(8)-Based Products and Ongoing Industrial Transition. *Environ Sci Technol*. 51(8):4482-4493.
- Wang Z, MacLeod M, Cousins IT, Scheringer M, Hungerbuhler K (2011a). Using COSMOtherm to predict physicochemical properties of poly- and perfluorinated alkyl substances (PFASs). *Environ Chem* 8(4):389–98.
- Wang N, Liu J, Buck RC, Korzeniowski SH, Wolstenholme BW, Folsom PW, Sulecki LM (2011b). 6:2 fluorotelomer sulfonate aerobic biotransformation in activated sludge of waste water treatment plants. *Chemosphere*.82(6):853-8.
- Wen B, Li L, Zhang H, Mab Y, Shan X-Q, Zhang S (2014). Field study on the uptake and translocation of perfluoroalkyl acids (PFAAs) by wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in biosolids-amended soils. *Environmental Pollution*. 184: 547-554.
- Winkens K, Vestergren R, Berger U, Cousins IT (2017). Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): A critical review. *Emerging Contaminants* 3; 55-68.
- Xiao F, Hanson RA, Golovko SA, Golovko MY, Arnold WA (2018). PFOA and PFOS are generated from zwitterionic and cationic precursor compounds during water disinfection with chlorine or ozone. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 5, 382–388.
- Yeung LWY, Stadey C, Mabury SA (2017). Simultaneous analysis of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances including ultrashort-chain C₂ and C₃ compounds in rain and river water samples by ultra performance convergence chromatography. *J Chromatogr A*. 1522:78-85.
- Zafeiraki E, Costopoulou D, Vassiliadou I, Leondiadis L, Dassenakis E, Traag W, Hoogenboom RL, van Leeuwen SP (2015). Determination of perfluoroalkylated substances (PFASs) in drinking water from the Netherlands and Greece. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 32(12):2048-57.
- Zhao S, Zhou T, Wang B, Zhub L, Chen M, Li D, Yang L (2018). Different biotransformation behaviors of perfluorooctane sulfonamide in wheat (*Triticum aestivum* L.) from earthworms (*Eisenia fetida*). *Journal of Hazardous Materials*. 346: 191–198.
- Zhou J, Li Z, Guo X, Li Y, Wu Z, Zhu L (2019). Evidences for replacing legacy per- and polyfluoroalkyl substances with emerging ones in Fen and Wei River basins in central and western China. *J Hazard Mater*. 22;377: 78-87.
- Zhou Z, Shi Y, Vestergren R, Wang T, Liang Y, Cai Y (2014). Highly elevated serum concentrations of perfluoroalkyl substances in fishery employees from Tangxun lake, china. *Environ Sci Technol*. 48(7):3864-74.