NACIONES UNIDAS

PNUMA

SC

UNEP/POPS/POPRC.15/2

Distr. general
28 de mayo 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
Tema 5 a) del programa provisional*

Labor técnica: examen de una evaluación de la gestión de los riesgos sobre el ácido perfluorohexano sulfónico (PFHxS), sus sales y los compuestos conexos del PFHxS

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

Nota de la Secretaría

I. Introducción

1. En su 14ª reunión, el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes aprobó la decisión POPRC-14/1 sobre el ácido perfluorohexano sulfónico (PFHxS), sus sales y los compuestos conexos del PFHxS (véase UNEP/POPS/POPRC.14/6, anexo I). En el párrafo 3 de esa decisión, el Comité decidió establecer un grupo de trabajo entre reuniones encargado de preparar una evaluación de la gestión de los riesgos que incluyese un análisis de las posibles medidas de control del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS, de conformidad con el anexo F del Convenio.

2. Con arreglo a la decisión POPRC-14/1 y al plan de trabajo para la preparación de un proyecto de evaluación de la gestión de los riesgos aprobado por el Comité (UNEP/POPS/POPRC.14/6, anexo III), el grupo de trabajo entre reuniones ha preparado un proyecto de evaluación de la gestión de los riesgos sobre el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS, el cual se reproduce en el anexo de la presente nota sin que haya sido objeto de revisión editorial oficial en inglés. En el documento UNEP/POPS/POPRC.15/INF/5 se recopilan observaciones y respuestas relativas al proyecto de evaluación de la gestión de los riesgos.

II. Medida que se propone

3. El Comité tal vez deseará:

a) Aprobar, con las enmiendas que estime pertinentes, el proyecto de evaluación de la gestión de los riesgos que figura en el anexo de la presente nota;

b) Decidir, de conformidad con el párrafo 9 del artículo 8 del Convenio y sobre la base del perfil de riesgos aprobado en su 14ª reunión (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) y de la evaluación de la gestión de los riesgos, si debería recomendarse a la Conferencia de las Partes que considerase la posibilidad de incluir el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en los anexos A, B o C del Convenio.

* UNEP/POPS/POPRC.15/1.

Anexo

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

PROYECTO DE EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE LOS RIESGOS

junio de 2019

Índice

Resumen 4

1. Introducción 6

1.1 Identidad química del PFHxS 6

1.2 Conclusiones del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes en relación con la información solicitada en el anexo E 7

1.3 Fuentes de datos 8

1.4 Situación del producto químico en los convenios y organizaciones internacionales 8

1.5 Gestión de los riesgos a nivel nacional y regional 8

2. Resumen de 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 reducir los riesgos 14

2.2.1 Viabilidad técnica 15

2.2.2 Costos y beneficios de la aplicación de medidas de control 16

2.3 Información sobre productos y procesos alternativos 16

2.3.1 Sustancias alternativas para aplicaciones específicas 16

2.3.1.1 Espumas formadoras de película acuosa (EFPA) 17

2.3.1.2 Recubrimiento metálico 20

2.3.1.3 Productos textiles, cuero y tapicería 21

2.3.1.4 Abrillantadores y agentes de limpieza y lavado, incluidos revestimientos, impregnación y protección (contra la humedad, hongos, etc.) 22

2.3.1.5 Fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores 22

2.3.2 Otros usos 23

2.4 Resumen de la información sobre los efectos sociales de la aplicación de las medidas de control que pueden aplicarse 23

2.4.1 Salud pública, ambiental y laboral 24

2.4.2 Agricultura, incluida la acuicultura y la silvicultura 25

2.4.3 Aspectos económicos y costos sociales 26

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. Resumen de la información 30

3.1 Resumen de la información sobre el perfil de riesgo 30

3.2 Resumen de la información sobre la evaluación de la gestión de los riesgos 31

3.3 Medidas de gestión de los riesgos recomendadas 32

4. Conclusión 32

Referencias 33

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 analizasen 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) fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores. Además, el PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos se han usado en ciertos productos de consumo a base de sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS). Se produce y se ha producido PFHxS de manera no intencional durante la fabricación de otros PFSA mediante fluoración electroquímica (FEQ). En muchas aplicaciones se ha usado PFHxS en sustitución del ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS). Hay alternativas para todas las categorías de uso posibles.

5. La escasa información disponible sobre los usos intencionales del PFHxS y sus compuestos conexos indica que son similares a los del PFOS y el ácido perfluorooctanoico (PFOA). Según la evaluación de las alternativas al PFOS, sus sales, el fluoruro de perfluorooctano sulfonilo (PFOSF) y el PFOA, hay alternativas viables desde el punto de vista técnico para todas las aplicaciones y de hecho ya se usan. Además, durante el proceso de evaluación del POPRC no se ha solicitado ninguna exención para usos críticos de PFHxS, sus sales o compuestos conexos, señal de que es viable la adopción de alternativas químicas y soluciones técnicas no químicas.

6. 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 e intercambio de información sobre los productos químicos perfluorados y en el apoyo a la transición hacia alternativas más seguras. En los Estados Unidos de América se ha llevado a cabo una labor voluntaria de eliminación de 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. El PFHxS es muy abundante en compartimentos ambientales como las aguas de superficie, las aguas abiertas, el agua potable, las plantas de tratamiento de aguas residuales, los lixiviados de vertederos, los sedimentos, las aguas subterráneas, los suelos, la atmósfera, el polvo y la biota (incluida la fauna y flora silvestres) y los seres humanos de todo el mundo. 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. No obstante, también se han registrado liberaciones procedentes de plantas de fabricación.

8. A tenor de las estimaciones de los inventarios de emisiones mundiales, se prevé que la materia prima, esto es, el fluoruro de sulfonilo perfluorohexano (PHxSF), y sus derivados seguirán presentes en el medio ambiente durante decenios, y se estima que las zonas alejadas de las regiones de origen no han alcanzado aún su nivel máximo de concentraciones. Para reducir esas concentraciones ambientales será imprescindible adoptar medidas de control eficientes en materia de manipulación de los desechos.

9. 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 sobrellevar un costo socioeconómico importante. Además, dadas las ventajas considerables en cuanto a reducción de los costos que se espera obtener de la mitigación y la descontaminación, es previsible que, en conjunto, la prohibición o restricción del uso del PFHxS genere más

beneficios que costos. Según las estimaciones, será muy costoso rehabilitar los aeropuertos y centros de adiestramiento en manejo de espumas ignífugas y los vertederos de desechos (en especial los que recibían desechos industriales y peligrosos) y extraer las PFAS (incluido el PFHxS) del agua potable y de las fuentes de agua próximas a esas instalaciones.

10. Cabe esperar que eliminación a nivel mundial del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS sea beneficiosa para 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 ninguna exención para su producción y uso.

1. Introducción

1.1 Identidad química del PFHxS

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

a) El ácido perfluorohexano sulfónico (núm. de CAS: 355-46-4, PFHxS);

b) Toda sustancia que contenga la fracción química $C_6F_{13}SO_2$- entre sus elementos estructurales y que pueda degradarse a PFHxS.

12. En el grupo del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS se incluyen diversas sustancias, por ejemplo, isómeros. La OCDE ha confeccionado una nueva lista de sustancias perfluoradas y polifluoradas que contiene 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). Además, la restricción propuesta en el marco del REACH contiene 147 compuestos relacionados con el PFHxS (EHCA 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.

13. En el cuadro 1 se presenta la identidad química del PFHxS y en el cuadro 2 se enumeran algunas propiedades fisicoquímicas de la sustancia (obtenidas mediante modelos o 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 PFHxS

Propiedad	Valor	Referencia
Estado físico a 20 ºC 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 ºC)	Kim *y otros*, 2015
Punto de ebullición	238 ºC a 239 ºC	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 ºC a 25 ºC) 2,3 g/l (no disociado)	Campbell y otros, 2009 (calculado) Wang y otros, 2011a (COSMOtherm)*
Coeficiente de reparto aire-agua, K_{aw} (valor de log)	-2,38	Wang y otros, 2011a (COSMOtherm)*

Propiedad	Valor	Referencia
Coeficiente de reparto *n*-octanol-agua, K_{ow} (valor de log)	5,17	Wang y otros, 2011a (COSMOtherm)*
Coeficiente de reparto octanol-aire, K_{oa} (valor de log)	7,55	Wang y otros, 2011a (COSMOtherm)*
Coeficiente 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).

14. 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). Hoy por hoy no existen métodos analíticos normalizados, pero el método CEN/TS 15968, que se usa para detectar PFOS en artículos sólidos revestidos e impregnados, líquidos y artículos y espumas ignífugas, puede servir para determinar las concentraciones de formas iónicas de 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 de detección y cuantificación de PFOA y 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 neutrales y volátiles relacionados con el PFHxS, Herzke y otros (2012) anunciaron que habían logrado detectarlos 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 obstaculizan la vigilancia de los mercados de estos productos. También faltan métodos normalizados para la detección de 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 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

15. 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 perfil 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 analizasen 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.

1.3 Fuentes de datos

16. 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 Convenio[1].

17. 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] http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Meetings/POPRC14/POPRC14Followup/PFHxSInfoSubmission/tabid/7826/Default.aspx.

1.4 Situación del producto químico en los convenios y organizaciones internacionales

18. 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

19. En 2017 la Unión Europea catalogó al PFHxS y sus sales como sustancias extremadamente preocupantes y los 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 inclusión en esa lista 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 2109, 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).

20. 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 fabricadas o comercializadas en el Canadá, o importadas a ese país, en la actualidad o en el pasado. Todo aquel que tenga la intención de importar al Canadá, o fabricar en ese país, una sustancia que no esté recogida en la DSL (como el PFHxS, el PHxSF o un compuesto conexo del PFHxS que aún no figure en la DSL) deberá presentar una notificación exigida por el Reglamento de Notificación de Sustancias Nuevas. La finalidad de esta normativa es impedir la introducción en el mercado canadiense de sustancias nuevas sin una evaluación previa de sus efectos en el medio ambiente y la salud humana. Dentro de este proceso pueden aplicarse 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 aprobación previa de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (United States Government, 2002; 2007). En 2009 la EPA publicó un plan de acción sobre las PFAS de cadena larga (definidas como el PFSA de C_5 y los ácidos carboxílicos perfluorados (PFCA) de C_7), incluidos el PFHxS y sus sales y precursores. Se determinó que todas las PFAS de cadena larga eran persistentes, bioacumulativas y tóxicas (US EPA, 2009). El Estado de Washington ha aprobado en fechas recientes un proyecto de ley por el que se prohíbe el uso de sustancias perfluoradas en envases de alimentos (https://www.foodpackagingforum.org/news/washington-state-bans-pfass-in-food-packaging) y se restringe su uso en espumas ignífugas y equipo de protección personal (https://ecology.wa.gov/Waste-Toxics/Reducing-toxic-chemicals/Addressing-priority-toxic-chemicals/PFAS/Toxics-in-firefighting).

21. 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). En Noruega, el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS se han añadido en fechas recientes a la lista nacional de sustancias prioritarias (Prioritetslista http://www.miljostatus.no/prioritetslisten) con el objetivo de eliminar su uso en el país antes de 2020.

22. 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 marco 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 susceptibles de degradarse a ácidos carboxílicos perfluorados, sulfonatos de perfluoroalquilo y sustancias semejantes, en los casos en que no se disponía 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 PHxSF. 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 PHxSF 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).

23. 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).

24. En 2014 el Organismo Danés de Protección Ambiental publicó un estudio sobre la contaminación de las aguas subterráneas causada por fuentes puntuales de sustancias perfluoroalquílicas, entre ellas el PFHxS y sus compuestos conexos. A raíz del hallazgo de aguas subterráneas contaminadas 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 de 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 de agua potable para la concentración 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). El Consorcio de Agua y Suelo del Gobierno de Alemania ha recopilado "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).

25. Varios Estados de los Estados Unidos han fijado límites a la presencia de PFAS en el agua potable, entre ellas el PFHxS. El Estado de Massachussets ha establecido un límite de 0,07 µg/l para la suma de PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA y PFHpA en el agua potable (Mass. Gov), el Departamento de Salud de Minnesota recomienda un valor orientativo de 0,027 µg/l para el PFHxS (MDH) y el Estado de Vermont establece un límite de 0,02 µg/l para la suma de PFOA, PFOS, PFHxS, PFHpA y PFNA en el agua potable (H. Vermont). Además, el Ministerio de Salud del Canadá aplica un valor de selección en el agua potable de 0,6 µg/l para el PFHxS (Government of Canada, 2018).

26. 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 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 agua potable son 0,07 µg/l en el caso de la suma de PFOS y PFHxS y 0,7 µg/l en aguas de recreo (Gobierno de Australia, 2017); estos mismos valores se han establecido también en Nueva Zelandia (http://www.mfe.govt.nz/node/24415). En Rusia está regulada la presencia de varias PFAS de cadena corta y media, por lo general calificadas de sustancias de baja peligrosidad, en la atmósfera y el agua de los lugares de trabajo (OCDE, 2013).

27. El Gobierno de Dinamarca recomienda no usar PFAS ni compuestos organofluorados en la fabricación de papel y, en el el caso de los materiales de envasado de alimentos, ha fijado un límite aconsejable de 0,35 µg de compuesto organofluorado por decímetro cuadrado de papel (Dinamarca, 2015).

28. En los últimos tiempos se ha centrado la atención en la adopción de medidas futuras en materia de PFAS. Más de 200 científicos han firmado la "Declaración de Madrid", en la que se solicita 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 segunda declaración, resultado de un taller celebrado en 2017, contiene una serie de recomendaciones para la futura evaluación y gestión de las PFAS que vienen refrendadas por un grupo de más de 50 científicos y legisladores de todo el mundo (Ritscher y otros, 2018).

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

29. 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), pero prácticamente no hay información sobre su producción y uso actuales. Hasta la fecha han sido muy pocos los estudios dedicados a indagar específicamente en las liberaciones de PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos al medio ambiente, de ahí la falta de información cuantitativa al respecto.

30. El principal fabricante mundial de PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS era 3M, que solo en 1997 produjo unas 227 toneladas de PHxSF 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 han producido PFHxS y precursores de esta sustancia (examinado en Boucher 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), aunque tras la quiebra del fabricante italiano, la fabricación en Italia cesó en noviembre de 2018. La información sobre la producción en China concuerda con los datos ambientales, por ejemplo, con los niveles elevados de PFHxS registrados en lagos y ríos asiáticos (Ma y otros, 2018; Pan y otros, 2018; Cui y otros, 2018). Por ejemplo, según un estudio de Ma y otros, (2018), el PFHxS es la PFAS predominante en el lago Taihu y en sus aguas tributarias. La sustancia presentaba unos niveles de concentración en el lago (45,9 a 351 ng/l) superiores a los del PFOS, fenómeno que se ha atribuido a la producción y el uso de PFHxS como sustancia alternativa a causa de 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 1.255 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). 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, el Fen y el Wei, era claramente mayor que la del PFOS, quizá porque cada vez se fabrica más el primero para usarlo en sustitución del segundo (Zhou y otros, 2019). La tasa de descarga de masa del PFHxS en los dos ríos (116 y 37 kg al año) era la más elevada de todas las PFAS. 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 protector de alfombras y fluoropolímeros (Zhou y otros, 2019).

31. Algunos países (Australia, el Canadá, China, los Estados Unidos de América, el Japón, Nueva Zelandia, los países nórdicos[2] y la Unión Europea) han incluido el PFHxS, sus sales o muchos compuestos conexos del PFHxS en sus inventarios nacionales de productos químicos, indicio evidente de producción, importación o uso, bien en el pasado o en la actualidad, 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) fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores. Además, otras categorías de uso podrían ser los plaguicidas, los pirorretardantes, el papel, los utensilios de cocina y la industria petrolífera (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1).

32. 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, abrillantado, 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 detectado un polímero que contiene PFHxS (probablemente como componente no intencional de un derivado polimérico del PFOS, núm. de CAS: 127133-66-8) (RPA, 2019). Asimismo, en la elaboración del perfil de riesgo del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS se descubrió que un producto de sellado y acabado de suelos comercializado por una empresa norteamericana contenía una sustancia conexa del PFHxS, aunque el producto en cuestión ya no está en el mercado (véase el perfil de riesgo UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). Hay indicios de que el aditivo de una solución de texturizado de células fotovoltaicas de la República de Corea contiene PFHxS, sus sales o compuestos conexos (se desconoce el núm.

[2] Noruega, Suecia, Dinamarca, Finlandia, Islandia, Groenlandia y las Islas Feroe.

de CAS). El país importaba productos que contienen PFHxS pero no producía PFHxS ni compuestos relacionados con la sustancia (República de Corea, información presentada en respuesta a la solicitud del anexo F). En la encuesta estadística sobre productos químicos realizada en 2016 con arreglo a la Ley de Control de Productos Químicos se notificó la importación a la República de Corea de 20 toneladas de polímeros de metacrilato con cadenas laterales de compuestos conexos del PFHxS. De los polímeros importados, los contenidos en pulverizadores para revestimiento de automóviles se importaron entre 2013 y 2015 (información presentada por la República de Corea en respuesta a la solicitud del anexo F). Además, 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 µg/l y 0,013 µg/l, pero en 2017 aumentaron repentinamente hasta 0,454 µg/l en un tramo del río Nakdong adyacente a una planta (información presentada por la República de Corea en respuesta a la solicitud del anexo F). Este aumento condice con 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 µg/l) (Park y otros, 2018). La presencia de PFHxS se debía al uso de soluciones de texturizado de células fotovoltaicas a base de compuestos conexos del PFHxS que se habían importado a la República de Corea. Tras la adopción de medidas correctivas, las concentraciones de PFHxS se redujeron hasta los niveles observados en años anteriores.

33. En varias muestras de productos chinos sustitutivos del PFOS también se han detectado concentraciones altas de PFHxS. Según el informe https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substtution-in-china.pdf(Huang et al, 2015), “estos productos se usan sobre todo en surfactantes de EFPA, por ejemplo, VF-230 (5,082 mg/l), VF-9126 (1771 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. En cambio, el contenido de PFHxS en esos surfactantes que después se usaron en las EFPA (VF 230, VF-9126 y VF-9128) pasó inadvertido, por lo que no se suministró información al respecto en el momento de la venta (https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substtution-in-china.pdf; Huang y otros, 2015).

34. El PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS no están sujetos a registro conforme a REACH, el reglamento europeo sobre productos químicos. Sin embargo, en el inventario de clasificación y etiquetado de la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas[3] se han registrado unas 68 notificaciones o autoclasificaciones relativas al grupo del PFHxS, sus sales y compuestos conexos del PFHxS, lo que 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, el REACH no exige el registro ni la evaluación de los polímeros cuya longitud de cadena sea ≥ 3 (monómeros), de lo cual se sigue que podría haber otra fuente considerable 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) y cuya cantidad total represente una tonelada o más al año deben registrarse conforme al REACH (artículo 6 3)). No obstante, está en marcha la revisión de las futuras medidas de control de los polímeros disponibles en el mercado que se indican en el reglamento REACH (artículo 138 2)). 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.

35. 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, papel, plaguicidas, galvanoplastia, espumas ignífugas, materiales fotosensibles y algunos materiales sintéticos. Las sustancias también se han detectado en tintas de impresión, sellantes y utensilios de cocina antiadherentes. Según esa información del Reino Unido, en el país no se usan ni fabrican las sustancias en forma de materia prima, pero se da por hecha su presencia en algunos materiales de uso cotidiano (información presentada por el Reino Unido con arreglo al anexo F).

36. Por otro lado, es importante señalar que las autoridades competentes de Dinamarca, Noruega y Suecia han recibido notificaciones sobre cantidades 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; Norwegian Environment Agency M-961/2018). Un reciente análisis de fuentes realizado en el litoral de la bahía china de Bohai ha puesto de manifiesto 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).

37. La materia prima usada en la fabricación de PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos, el PHxSF (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 de esos vendedores, a diversos usos: “Este producto es una de las materias primas más importantes para elaborar surfactantes con flúor. Los surfactantes con flúor pueden usarse en textiles, cuero, papel, plaguicidas, galvanoplastia, explotaciones petrolíferas, extinción de incendios, materiales fotosensibles, material sintético y otros ámbitos”. Por otro lado, en China hay un

[3] https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/cl-inventory-database.

total de seis fabricantes (https://www.lookchem.com/newsell/search.aspx?key=423-50-7&countryId=1&business Type=Manufacturers) que al parecer son capaces de fabricar PHxSF. Además, en la siguiente página web (https://www.lookchem.com/newsell/search.aspx?p=1&key=355-46-4&ad=) 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.

38. Durante la fluoración electroquímica, proceso empleado para producir fluoruro de perfluorooctano sulfonilo (PFOSF), puede generarse PHxSF como subproducto accidental (Gramstad y Haszeldine, 1957; Jiang y otros, 2015; 3M 2000b). A menos que los fabricantes lo eliminen del PFOSF, el PHxSF 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 PHxSF 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 nos alcanza, no está claro que la fabricación actual de PBSF genere PHxSF como subproducto.

39. Recientemente se ha publicado un inventario de emisiones mundiales de PFSA de C_4 a C_{10} y precursores conexos (Boucher y otros, 2019) en el que se examinan e incorporan los datos disponibles sobre el ciclo de vida de la materia prima PHxSF y sus derivados. Usando la misma metodología utilizada en un estudio anterior sobre el PFOSF (Wang y otros, 2017), se ha confeccionado un inventario del PHxSF 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 efectuadas sobre el terreno. En el presente proyecto de evaluación no se cuantifica ni consigna la producción intencional de PHxSF y sus derivados en el pasado ni en la actualidad porque no se ha encontrado información sobre los volúmenes de producción de las sustancias.

40. En los inventarios de emisiones estimadas se incluye el intervalo de emisiones mundiales totales procedentes del ciclo de vida de los productos basados en PHxSF y se especifican las emisiones mundiales correspondientes a cada categoría de fuentes y a distintos períodos. Se prevé que, en el período 2016-2030, las emisiones mundiales de PFHxS procedentes de la producción, el uso y eliminación, la degradación de los compuestos conexos del PFHxS y la degradación del PHxSF totalizarán entre 2 y 89 toneladas. En ese período, según las estimaciones, las emisiones más cuantiosas serán 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).

41. Las concentraciones de PFHxS cuantificadas en el terreno concuerdan con las obtenidas en el modelo. Según los resultados, las concentraciones ambientales de PHxSF y sus derivados (como el PFHxS y los compuestos conexos del PFHxS) seguirán siendo elevadas durante decenios y las concentraciones estimadas en las zonas alejadas de las regiones de origen aún no han alcanzado su nivel máximo. Es probable que estas estimaciones sean muy representativas en una escala geográfica grande, pero las emisiones resultantes de la producción intencional de productos a base de PHxSF en China (y quizá en otros países), hoy por hoy imposibles de cuantificar y por tanto no reflejadas en el estudio en cuestión, pueden aumentar los niveles de exposición en algunas zonas concretas (Boucher y otros, 2019).

42. En resumen, la información recogida en esta sección demuestra que el PFHxS está muy distribuido en el medio ambiente mundial (para más detalles, véanse también UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1 y UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). En el pasado, las emisiones más cuantiosas de PFHxS y sus compuestos se debían con toda probabilidad a su presencia no intencional en el PFOS fabricado mediante fluoración electroquímica. A tenor de la información presentada por la República de Corea en respuesta a la solicitud del anexo F, es probable que aún se emita y libere PFHxS como resultado de la producción y el uso de PFOS. Además, es posible que también haya concentraciones de PFHxS en las existencias aún no eliminadas de PFOS o de productos o mezclas químicas que contengan este compuesto. Con todo, a la luz de informaciones recientes, en especial procedentes de Asia, el PFHxS ha sustituido al PFOS en muchas aplicaciones. Así lo ponen de manifiesto los numerosos estudios nuevos en que se ha detectado que el PFHxS es la PFAS más vertida en ríos y lagos, en particular en las zonas urbanas y en las inmediaciones de plantas industriales del continente asiático. Según se informa, esas liberaciones de PFHxS podrían estar vinculadas a actividades como el tratamiento de textiles (Park y otros, 2018; Ma y otros, 2018; Zhou y otros, 2019), la industria química y el sector de la 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). Esos estudios indican que el PFHxS se usa deliberadamente en esas 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 como sustitutivo del PFOS. No se han publicado datos cuantitativos sobre

producción intencional de PHxSF –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

43. Para determinar las medidas de control que pueden adoptarse durante todo el ciclo de vida de las sustancias será necesario examinar sus aplicaciones más importantes y las posibles vías de emisión. Estas vías pueden ser tres:

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 $C_6F_{13}SO_2$.

44. Como se menciona en el párrafo 31, se han señalado 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) fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores. Según la información disponible, es probable que las principales fuentes de liberaciones de PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos sean las aplicaciones en EFPA; productos textiles, cuero y tapicería; y la fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores. 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 sustitutivo del PFOS en las aplicaciones siguientes: 1) EFPA; 2) agentes hidrófugos; 3) agentes para el acabado de textiles (Huang y otros, 2015); pero no cabe descartar las liberaciones procedentes de otros usos domésticos y profesionales como, por ejemplo, abrillantadores y gentes y productos de limpieza y lavado.

45. 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” prevista en 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.

46. Ninguna Parte ni observador ha solicitado exenciones durante la elaboración de la presente evaluación de la gestión de riesgos. No se han encontrado usos críticos, y existen alternativas viables desde el punto de vista técnico para todas las aplicaciones y de hecho ya se usan. 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 ninguna exención para su producción y uso.

47. 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 reciclaje de los desechos y las reservas.

48. A fin de dar cabida a las liberaciones de PFHxS resultantes de la fabricación de otros productos a base de PFAS, podría estudiarse la imposición de un valor límite al contenido de PFHxS en esos productos según el principio ALARA (valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse).

49. Según las estimaciones, una de las mayores fuentes de emisiones de PFHxS es el uso y la eliminación (Boucher y otros, 2019). En la información suplementaria de Boucher y otros (gráfico S6) se exponen sucintamente

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). Además, los usuarios que adopten una sustancia sustitutiva deberán lavar su equipo de fabricación y almacenamiento y eliminar los residuos líquidos resultantes de ese lavado. 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). Además, 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 (Norwegian Environment Agency, M-806/2017). Por tanto, procede estudiar la adopción de medidas de control en las plantas de tratamiento de aguas residuales para impedir que el efluente sea una vía de emisiones.

50. Tras la inclusión del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el Convenio habrán de cumplirse las disposiciones del párrafo 1 d) ii) del artículo 6. Por tanto, 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 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 emisiones y de usar las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales en la etapa de gestión de los desechos. Además, las Partes se esforzarán por elaborar estrategias adecuadas para detectar sitios contaminados con PFHxS, cuya rehabilitación se efectuará de manera ambientalmente racional.

2.2 Eficacia y eficiencia de las medidas de control que pueden adoptarse para reducir los riesgos

51. Hay que considerar la posibilidad de adoptar medidas de control en todas las etapas del ciclo de vida del PFHxS para reducir las emisiones de la sustancia al medio ambiente. Estas emisiones se producen en todas las etapas del ciclo de vida, aunque se supone que las más elevadas tienen lugar durante su vida útil y al convertirse en desecho. No obstante, también se han constatado liberaciones considerables de PFHxS en plantas manufactureras, 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 hacer efectiva esa prohibición 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 procurará la gestión ambientalmente racional de las existencias y los desechos y la limpieza de sitios contaminados (si se acomete) tales como plantas de fabricación y sus inmediaciones, aeropuertos, bases militares y otras fuentes.

52. 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 solicitado 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 actividades (como el tratamiento de cuero y textiles, la fabricación de semiconductores, etc.).

53. Según un estudio realizado por el Grupo Mundial sobre Productos Químicos Perfluorados, dos factores importantes para la reducción de los riesgos de las PFAS son el incremento 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 plantearse varios problemas (OCDE, 2015), algunos de ellos relativos a las medidas de control que deben aplicarse para hacer realidad la reducción de los riesgos correspondientes al 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 detección de los procesos industriales (es decir, el tratamiento de productos textiles, cuero y otros materiales y la fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores) y productos en que se usan esas sustancias. 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 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 sustancias químicas 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 en los productos http://www.saicm.org/Implementation/EmergingPolicyIssues/ChemicalsinProducts/tabid/5473/language/en-US/Default.aspx.

54. Además, es muy frecuente la adición de PFAS a otros productos en concentraciones bajas, con lo cual no es obligatorio informar del contenido de la sustancia. Un ejemplo es el Reglamento REACH de la Unión Europea, que obliga a los proveedores a notificar 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 esquíes, muestras de cuero y textiles para actividades al aire libre.

55. Como se indica más arriba 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 en la labor relativa al PFOS y las directrices e inventarios elaborados en el marco de ese programa de trabajo pueden ser muy útiles en la aplicación de medidas de control relativas al PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS.

56. Como se señala en la sección 1.5, muchos países han adoptado medidas para reducir la exposición y las liberaciones de PFAS. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) emplea una combinación de procedimientos reglamentarios y voluntarios, en concreto, la llamada Norma sobre Nuevos Usos Importantes y un mecanismo voluntario, el Programa de Gestión del PFOA 2010/2015 (OCDE, 2015). La EPA ha fijado unos niveles recomendables con respecto a la presencia de PFOA y PFOS en el agua potable y ha publicado información actualizada sobre los niveles de PFAS en aguas subterráneas y superficiales (https://www.epa.gov/dwucmr/third-unregulated-contaminant-monitoring-rule). Australia ha catalogado 26 emplazamientos militares de máxima prioridad en los que las aguas subterráneas están contaminadas con PFAS, entre ellas PFHxS (http://www.defence.gov.au/Environment/PFAS/Publications/Default.asp). Con respecto al PFOS y el PFHxS, Australia ha establecido unos valores sanitarios orientativos en forma de dosis diaria tolerable: 0,02 µg/kg de peso corporal; en el caso del PFOA, la dosis se ha fijado en 0,16 ug/kg de peso corporal. Estos valores son útiles para investigar sitios contaminados y efectuar evaluaciones de los riesgos para la salud humana (Australia Gov., 2016).

57. 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, poner fin a las aplicaciones de PFAS que puedan contaminar el medio ambiente. Una forma de lograr ese objetivo es priorizar la aplicación de medidas destinadas a atajar los usos que puedan dar lugar a liberaciones directas de cuantía considerable al medio ambiente. En la estrategia se proponen criterios de uso para las espumas ignífugas a base de PFAS y se llega a la conclusión de que es necesario que la legislación sueca regule también el uso de espumas ignífugas que contengan sustancias muy fluoradas.

58. Habrá que sopesar la posibilidad de emprender actividades de vigilancia ambiental para verificar la eficacia de las medidas de control que se adopten.

2.2.1 Viabilidad técnica

59. Si bien no se posee una visión general clara del uso del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS, es previsible que muchos de los usos intencionales sean parecidos a los del PFOS (para más detalles, véase el perfil de riesgo del PFHxS; UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) y, en algunos casos, a los del PFOA (para más detalle, véase el resumen de la sección 2). Así pues, 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 indica que la transición hacia alternativas químicas y no químicas es factible. Puede que muchas de las alternativas propuestas también sean válidas para el PFHxS. No obstante, hay que señalar que el PFHxS ya se ha usado como alternativa al PFOS en algunas aplicaciones, concretamente las espumas ignífugas y el tratamiento de cuero y textiles (UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1).

60. Con respecto a la labor del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes relativa al PFOS, sus sales y el PFOSF, la información facilitada por el sector indica que la sustitución está en marcha y que apenas se han señalado unos pocos usos críticos para los cuales aún se necesita PFOS. Esos usos están relacionados con el empleo de PFOS (o de compuestos relacionados con el 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 (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 no fluoradas para todos los posibles usos del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos, algunas de las cuales son soluciones técnicas.

2.2.2 Costos y beneficios de la aplicación de medidas de control

62. Dado que no se ha señalado ningún uso crítico ni se han solicitado exenciones, la aplicación de medidas de control de la producción y el uso no se prevé costosa. Además, los volúmenes de existencias actuales deberían ser mínimos y con la eliminación del PFOS se acabaría también con el PFHxS generado de forma no intencional como subproducto de la fabricación de PFOS. Con la aplicación de medidas de control relativas al PFHxS se reduciría en parte el elevado costo que conllevan el saneamiento del agua potable y la rehabilitación de sitios contaminados con PFAS (para más información sobre los costos, véase la sección 2.4.3).

2.3 Información sobre productos y procesos alternativos

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 (Norwegian Environment Agency 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.

64. Como se ha mencionado más arriba, los usos intencionales de PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS se dan probablemente 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) fabricación de aparatos electrónicos y semiconductores.

2.3.1 Sustancias alternativas para aplicaciones específicas

65. Las alternativas al PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos consisten en productos químicos sustitutivos y opciones técnicas no químicas, como la modificación de los diseños o los productos. Hay que hacer todo lo posible para impedir la sustitución por otros contaminantes o sustancias químicas tóxicas.

66. 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 otro motivo de preocupación" (US National Research Council, 2014). Es difícil reducir la probabilidad de que la sustitución del PFHxS y sus compuestos conexos por ácidos perfluoroalquílicos (PFAA) y compuestos conexos similares resulte lamentable, ya que se trata de una categoría de sustancias muy amplia (OCDE, 2018) y apenas hay información sobre la mayoría de ellas. No obstante, la ECHA (ECHA, 2017b) y los encargados de formular políticas nacionales de varios países (Ritscher y otros, 2018; Cordner y otros, 2016) han propuesto aplicar un procedimiento de agrupación como forma de reducir la probabilidad de efectuar una sustitución lamentable. 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 C_2 a C_7 (PFCA) y los PFSA de C_3 a C_5) y otras alternativas fluoradas que se consideran seguras para los usos previstos por la industria (Fluorocouncil, 2015). En general, las PFAA de cadena corta son menos bioacumulativas, pero son persistentes, más hidrosolubles y tienen mucha movilidad, por lo que su propagación resulta más difícil de frenar y controlar que en el caso de las PFAA de cadena más larga (Arp y otros, 2017; Neumann y otros, 2017; Kotthoff y Bücking, 2018).

67. Algunos PFAA de cadena corta y otras alternativas fluoradas presentan una toxicidad parecida al PFOA y PFOS cuando se tiene en cuenta la biodisponibilidad (Gomis y otros, 2018) En un estudio realizado en Toronto, más del 80 % de las PFAS detectadas en unas muestras de agua de lluvia correspondía a PFAS de cadena corta (PFCA de C_2 a C_7 y PFSA de C_4), y por sí solas las PFAS de C_2 y C_3 representaban más del 40 % del total de PFAS presentes en unas muestras de agua de lluvia y agua de río (Yeung y otros, 2017). En el mercado han aparecido algunos compuestos fluorados nuevos para 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 sulfónicos perfluoroéteres (PFECA y PFESA) novedoso, como los ácidos dímero y trímero de óxido de hexafluoropropileno (HFPO-DA y HFPO-TA), el 4,8-dioxa-3-*H*-perfluorononanoato de amonio (también conocido por su nombre comercial, ADONA), el ácido sulfónico polifluoroéter clorado (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 (Gebbink y otros, 2017; Braunig y otros, 2019). En otro estudio,

además de PFCA de cadena corta, se detectaron 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).

68. Hay varios compuestos alternativos de cadena corta sospechosos de ser sustancias persistentes, bioacumulativas y tóxicas o muy persistentes y muy bioacumulativas, por lo que son objeto de evaluación conforme al REACH (por ejemplo, ADONA y los compuestos relacionados con el PFHpA) (lista CoRAP de la ECHA)) o bien está en marcha la adopción de medidas normativas de gestión del riesgo al respecto (PFHpA, PFBS, HFPO-DA, PFHxA (Registro de Intenciones y Herramienta de Coordinación de Actividades Públicas (PACT) de la ECHA)). 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 a que van destinados, por lo cual hay que usar más cantidad y, en consecuencia, se producen más emisiones en las fases de uso y eliminación del producto.

69. 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 adopción de normas a nivel mundial sobre el PFOA (decisión POPRC-14/2) en el marco del Convenio de Estocolmo. En su novena reunión, la Conferencia de las Partes decidió no hacer referencia específica a la necesidad de evitar el uso de PFAS de cadena corta (en las espumas ignífugas), toda vez que las PFAS de cadena corta conformaban un grupo muy nutrido de sustancias que presentaban diversas propiedades químicas y físicas y que el Comité no había examinado los datos de ese grupo. En lugar de ello se aprobó el texto 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 (PFOS) y decisión SC-9/12 (PFOA). Las PFAS de cadena corta son más hidrosolubles y más móviles en el medio ambiente que las PFAS de cadena larga (Baduel y otros, 2017; Barzen-Hanson y Field, 2015). A fin de evitar la sustitución lamentable por otros PFAA, las secciones siguientes se refieren principalmente a opciones químicas no fluoradas y técnicas alternativas no químicas.

70. 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 las distintas aplicaciones y sus alternativas, prestando una atención especial a las opciones químicas no fluoradas y las soluciones técnicas. (Las alternativas fluoradas se indican solamente en los casos en que no se ha demostrado la viabilidad de las opciones químicas no fluoradas y las técnicas alternativas para todas las aplicaciones de la categoría de uso en cuestión.)

Cuadro 3. Sinopsis de las alternativas

Aplicación	Disponibilidad de alternativas	Tipo de alternativa
Espumas ignífugas	Sí	Sustancias fluoradas y no fluoradas
Recubrimiento metálico	Sí	Alternativas químicas (fluoradas y no fluoradas) y soluciones técnicas
Textiles	Sí	Sustancias fluoradas, 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
Papel y envasado	Sí	Alternativas químicas no fluoradas (y técnicas alternativas, por ejemplo, papel de alta densidad)

2.3.1.1 Espumas formadoras de película acuosa (EFPA)

71. Las espumas formadoras de película acuosa (EFPA) son espumas muy eficaces para extinguir incendios de líquido inflamable. 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 se genera entre el combustible y la espuma enfría la superficie del combustible, actúa como barrera de vapor y favorece la expansión de la espuma sobre el combustible. Por lo general, las EFPA son resultado de la combinación de surfactantes sintéticos a base de hidrocarburos con surfactantes fluorados y se usan como espumas ignífugas para extinguir incendios de hidrocarburos líquidos de clase B. Las espumas fluoradas de esta clase se denominan EFPA, espumas fluoroproteicas o espumas fluoroproteicas formadoras de película. Las espumas sin flúor (F3) contra incendios de clase B se basan en mezclas patentadas de surfactantes a base de hidrocarburos.

72. 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 productos ramificados y 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); examinado 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 contienen PFOS también se contribuiría a reducir la emisión de PFHxS y sus compuestos conexos al medio ambiente.

73. Se ha detectado PFHxS y sus compuestos conexos en EFPA (D'Agostino y Mabury, 2014; KemI, 2015; Favreau y otros, 2017) y en aguas subterráneas y suelos afectados por actividades de instrucción en el manejo de EFPA, la mayoría de las veces como consecuencia del uso de espumas a base de PFOS que contienen cantidades no intencionales de PFHxS (Barzen-Hanson y otros, 2017; Gobelius y otros, 2018; Banzhaf y otros, 2017). No obstante, en el pasado también se han comercializado EFPA cuyo compuesto perfluorado activo era PFHxS (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 contienen PFHxS en sustitución del PFOS (https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substtution-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 EPA de los Estados Unidos y han abandonado por completo la producción de EFPA a base de compuestos de C_8, 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); es decir, que las espumas fluoradas fabricadas hasta 2015, año en que se prohibió el uso de compuestos fluorados con una longitud de cadena mayor de C_6 , pueden contener sustancias perfluoradas con una longitud de cadena C_8.(Eurofeu, 2018). La espuma "C_6 pura" contiene fluorosurfactantes producidos mediante telomerización, por lo que no debería contener PFHxS (FFFC, 2017).

74. A raíz de la novena reunión de la Conferencia de las Partes, la finalidad aceptable para la producción y el uso de PFOS, sus sales y PFOSF destinados a la fabricación de espumas ignífugas se convirtió en una exención específica temporal (decisión SC-9/4) para el uso de espumas ignífugas en la supresión de vapores de combustible líquido e incendios de combustible líquido (incendios de clase B) en sistemas instalados de tipo fijo y móvil. La misma decisión se adoptó también en el caso del PFOA, sus sales y los compuestos conexos del PFOA usados en EFPA (decisión SC-9/12).

Alternativas al PFHxS en espumas ignífugas para incendios de clase B

75. En la presente sección se examinan dos categorías de alternativas: a) las alternativas sin flúor y b) las alternativas fluoradas de cadena corta.

a) Alternativas sin flúor:

76. Varios fabricantes de espumas ignífugas ofrecen espumas sin flúor que satisfacen los criterios de rendimiento exigidos para la certificación de extinción de incendios de clase B (véase el cuadro 6 de UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). La única excepción es la norma del departamento de Defensa de los Estados Unidos (MIL-F-24385), que tiene en cuenta no solo el nivel de desempeño, sino 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 estadounidense 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 (US Congress, 2018).

77. Se ha introducido el uso de espumas sin flúor 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). En los aeropuertos civiles de Noruega, la sustitución se aplica en los sistemas fijos y los sistemas móviles. Además, varias instalaciones militares del país han adoptado las espumas sin flúor. Por otra parte, los sectores noruegos del gas y del petróleo están introduciendo la espuma sin flúor en sus instalaciones (terrestres y marinas), están satisfechos con su rendimiento y confían en su eficacia (comunicación personal con Equinor y la Asociación Noruega del Gas y el Petróleo, Organismo Noruego para el Medio Ambiente, 2019).

78. El Instituto de Prevención de Incendios y Desastres de la localidad alemana de Heyrothsberge 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). Según la conclusión de los autores del estudio, algunas espumas sin flúor 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 plataformas de extracción de petróleo y gas.

79. LASTFIRE, consorcio de 16 empresas petroleras, puso en marcha un proyecto a fines de la década de 1990 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 EFPA de C_6 y dos espumas sin flúor en depósitos de gran tamaño y llegó a la conclusión de que ninguna espuma de nueva generación (fluorada o sin flúor) podía considerarse un sustituto 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 el desempeño de las espumas alternativas variará en función de la formulación y el tipo de equipo de aplicación usado. Por tanto, no cabe afirmar que todas las alternativas fluoradas a base de compuestos de C_6 darán mejores resultados que las alternativas sin flúor, ni viceversa (Ramsden, 2018)

80. Es relativamente escasa la información disponible sobre la estructura química o las propiedades de las alternativas sin flúor. Se han encontrado 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 hidroxisultaína, octilsulfato de sodio, alquil poliglucósido (patente US20080196908). (Simplificado: una composición de sacáridos carbonizados, un reticulante o una sal inorgánica, un surfactante y agua).

81. 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:

82. Según la Coalición de Espumas Contra Incendio (FFFC, 2017), todas las EFPA modernas contienen fluorosurfactantes a base de fluorotelómeros. En los últimos 25 años, las sustancias fluoradas más usadas en las EFPA basadas en fluorotelómeros han sido los fluorosurfactantes de cadena corta (C_6), en concreto, PFAS de cadena corta con PFCA de longitud < C_7 o PFSA de longitud < C_6. La telomerización, otro procedimiento importante, junto con la FEQ, de fabricación de sustancias perfluoradas, da lugar a 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; se sabe, por ejemplo, que el 6:2 FTS se degrada en PFHpA y PFHxA, aunque 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 el capítulo 2.3, párrafo 68)). Para obtener la misma eficiencia ignífuga que las espumas de C_8 hay que usar concentraciones más elevadas de fluorosurfactantes C_6 o surfactantes oligoméricos (Tyco Patent 2014).

83. El medio acuático de muchas regiones, que incluye las aguas superficiales y las aguas subterráneas, está contaminado con PFAS (entre ellas, PFHxS), por lo que entraña un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Según diversos estudios, 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 contenían esas sustancias (Gobelius y otros, 2018; Banzhaf y otros, 2017; Hu y otros, 2016; IPEN 2018). Los impactos ambientales 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 algunos países también se regula cada vez más la espuma “C_6 pura” (≤ C6 = el 99,995 % de las PFAS) (Queensland Government, Australia, 2016). Por ejemplo, en Queensland (Australia) no está permitido liberarlas directamente al medio ambiente, sino que deben guardarse en contenedores en el sitio en cuestión y eliminarse conforme a la reglamentación sobre desechos (Queensland Government, Australia, 2018). A la luz de esos hechos, la Conferencia de las Partes adoptó en su novena reunión una decisión en la que se declara lo siguiente: “Alienta también a las Partes y otros a utilizar alternativas al ácido perfluorooctano sulfónico, sus sales y fluoruro de perfluorooctano sulfonilo en los casos en que estén disponibles y hacerlo resulte factible y eficiente, y al mismo tiempo a que consideren que las espumas ignífugas basadas en el flúor podrían tener efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana, y también en términos socioeconómicos, debido a su persistencia y movilidad” (SC-9/5). La misma recomendación se aprobó para el PFOA (decisión SC-9/12).

84. En respuesta a la preocupación que suscita la contaminación ambiental, el sector de la espuma (FFFC, 2016) ha elaborado unas directrices sobre las mejores prácticas para el uso de la espuma a base de flúor que incluyen 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 decidirse a usar 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) Hay que 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 sucedáneos líquidos sin fluorosurfactantes para las pruebas con sistemas fijos y sistemas móviles de administración de espuma;

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 aplicarlos al uso de las espumas fluoradas de clase B.

85. 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 elemento conductor. Algunos ejemplos de situaciones en las que no se necesitan espumas de clase B son 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 genéricas. Además, las espumas de clase B pueden resultar innecesarias en el caso de incendios por líquidos inflamables de pequeña entidad, como incendios de automóviles sin un derrame de combustible considerable, o cuando pueda aplicarse agua a una tasa elevada o usarse un extintor de polvo químico seco.

2.3.1.2 Recubrimiento metálico

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

87. El recubrimiento metálico (recubrimiento metálico duro) únicamente en sistemas de circuito cerrado está incluido en el anexo B del Convenio de Estocolmo como una finalidad aceptable para la cual se permite la producción y el uso del PFOS, sus sales y el PFOSF en el anexo B del Convenio de Estocolmo, y hay algunas Partes inscritas para valerse de esta exención. En su novena reunión, sin embargo, la Conferencia de las Partes decidió eliminar la exención para el uso aceptable del PFOS, sus sales y el PFOSF y convertirla en una exención específica temporal (decisión SC-9/4). 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 tres ejemplos de aplicaciones industriales de la galvanización con cromo duro, 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. 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 para reducir la cantidad de cromo que se pierde en la superficie. El Cr (VI) es carcinógeno para los seres humanos. 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 son surfactantes que reducen la tensión superficial de la solución de galvanizado. Al controlarse la tensión superficial, las burbujas de gas resultantes del proceso se vuelven más pequeñas y se elevan más despacio, con lo cual es menos probable que se forme neblina y que las gotas caigan fuera del baño de galvanizado.

88. La información disponible sobre el PFHxS no deja clara la magnitud del uso de la sustancia 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 podrían haberse usado en esas aplicaciones (examinado en Norwegian Environment Agency 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 PHxSF propiamente dicho como materia prima de varios 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 una solución de ataque –por ejemplo, un surfactante o un inhibidor de gases– utilizada 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 EPA sobre nuevos usos importantes de los sulfonatos de perfluoroalquilo y los carboxilatos de perfluoroalquilo de cadena larga (US EPA, 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

89. Existen algunas técnicas alternativas que no usan productos químicos e impiden la liberación de cromo hexavalente durante los procesos de recubrimiento (véase el cuadro 3 de UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8), como el uso de bolas recubiertas de politetrafluoroetileno (Teflón) y de mallas o mantas para cubrir los baños de recubrimiento. No obstante, se ha puesto en duda la eficacia de este sistema en comparación con los inhibidores de gases (véase sección 2.5.3 en UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). Otra opción es el uso de dispositivos de control, como las almohadillas de malla compuestas (AMC) o el depurador de vapor de ácido crómico (https://www.monroeenvironmental.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, no en vano están disponibles en el mercado canadiense (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 su recogida y transporte, 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. Hasta donde se nos alcanza, no se sabe 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 cromado 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 anteriormente eran incompatibles con los revestimientos (https://www.hexigone.com/). Ahora bien, no está claro si estas técnicas son válidas para el recubrimiento con metales duros, o solo para el metalizado decorativo.

Alternativas químicas

90. Poulsen y otros (2011) han certificado la viabilidad de los inhibidores de neblina sin PFOS para recubrimientos no decorativos con cromo duro (Cr VI) en sistemas de circuito cerrado. El producto Fumetrol® 21, alternativa fluorada fabricada por Atotech a base de ácido 1H,1H,2H,2H-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 polifluoroalquilada se transforma en una mezcla de ácidos perfluorocarboxílicos cuyas cadenas de alquilo no contienen más de seis átomos de carbono perfluorado. También está en marcha la creación de una alternativa inocua para el medio ambiente que permita sustituir el cromo hexavalente por el cromo trivalente en el recubrimiento con cromo duro (https://www.pfonline.com/blog/post/nucor-invests-in-environmentally-friendly-chrome-plating).

2.3.1.3 Productos textiles, cuero y tapicería

91. 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 (Danish EPA, 2015). Según el informe de un estudio del Gobierno de Dinamarca (Danish EPA, 2015) en el que se mencionan cinco grupos químicos de alternativas no fluoradas –1) parafinas, 2) compuestos de ácido esteárico y melamina, 3) silicona, 4) dendrímeros y 5) nanomateriales–, existen algunas alternativas no fluoradas que confieren una capacidad hidrófuga duradera, pero hay pocas alternativas químicas no fluoradas que sirvan para repeler el aceite y la suciedad (Danish EPA, 2015). En la gama de agentes hidrófugos y sin fluorocarbonos disponibles para el acabado de productos textiles figuran productos comerciales como BIONIC-FINISH®ECO y RUCO-DRY® ECO, comercializados por Rudolf Chemie Ltd., Geretsried (Alemania); Purtex® WR, Purtex® WA y Purtex® 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).

92. Se ha llevado a cabo un estudio de consumo sobre la diversa funcionalidad de unos repelentes basados en tres tipos de sustancias –PFAS de cadena larga (C_8), PFAS de cadena corta (C_6) y compuestos no fluorados– con la intención de establecer una comparación novedosa entre los tejidos repelentes disponibles en el mercado para prendas de exterior y de evaluar sus propiedades hidrófugas y oleófugas (Hill y otros, 2017). Los productos químicos no fluorados pueden satisfacer las necesidades hidrófugas de los consumidores de prendas de exterior. Según los autores, el uso de PFAS en la fabricación de prendas de exterior es un ejemplo de “ingeniería excesiva” puesto que aporta más

capacidad oleófuga de la que necesita el consumidor. En otro estudio, los polímeros fluorados de cadena lateral (SFP) y los agentes hidrófugos a base de polidimetilsiloxanos o hidrocarburos resultaron excelentes en cuanto a capacidad hidrófuga y persistencia en algunos casos, con la particularidad de que los SFP de cadena corta repelían mejor el agua que los de cadena larga (Schellenberger y otros, 2018). Se observó que la eficacia oleófuga y la persistencia de los SFP disminuían de forma notable conforme aumentaba la longitud de la cadena perfluoroalquílica. Las alternativas sin flúor resultaron incapaces de repeler el aceite, por lo cual es menos probable que puedan adoptarse como opciones sustitutivas en aplicaciones textiles que exijan la capacidad de repeler líquidos no polares, como los tejidos sanitarios usados en batas y sábanas quirúrgicas, en 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 que algunos agentes hidrófugos duraderos, no fluorados e incluso biodegradables, podrían conferir cierto grado de repelencia contra las manchas (Schellenberger y otros, 2018).

93. En su novena reunión, la Conferencia de las Partes concedió una exención específica para el uso del PFOA, sus sales y los compuestos conexos del PFOA en la fabricación de textiles oleófugos e hidrófugos destinados a proteger a los trabajadores de los líquidos peligrosos que entrañan un riesgo para su salud y seguridad (decisión SC-9/12).

2.3.1.4 Abrillantadores y agentes de limpieza y lavado, incluidos revestimientos, impregnación y protección (contra la humedad, hongos, etc.)

94. Hay varios productos disponibles en Internet, pero poca información sobre su contenido y sobre la identidad de sus componentes químicos. Por ejemplo, el producto “Impregno” es un repelente sin flúor que protege contra el agua y las manchas (https://impregno.de/).

95. No se ha publicado mucha información sobre el uso del PFHxS en productos de limpieza, lavado y abrillantado. 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 usaba en abrillantadores y productos de limpieza y lavado al menos entre 2000 y 2015 en Dinamarca, Noruega y Suecia (SPIN, 2018).

96. Al parecer, uno de los compuestos conexos del PFHxS (el metacrilato de 2-[metil[(tridecafluorohexil)sulfonil]amino]etilo, núm. de CAS: 67584-61-6) se usaba en impregnación y protección contra la humedad, los hongos, etc. al menos en cuatro productos fabricados en Dinamarca entre 2003 y 2009 (SPIN, 2018). Además, en 2011 se encontró el mismo compuesto conexo del PFHxS (núm. de CAS: 67584-61-6) registrado en la misma categoría de uso en Noruega.

97. 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 de un metal parafina;

b) Poliuretanos hidrófobos modificados (poliuretanos hiperramificados hidrófobos modificados más conocidos como dendrímeros);

c) Productos a base de polisiloxanos;

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

98. El PFOS se ha usado en la industria de los semiconductores para aplicaciones tales como resinas fotosensibles y revestimientos antirreflejo, y como decapante para semiconductores compuestos y filtros de cerámica. Estos usos se recogen en la lista de las finalidades aceptables para la producción y el uso del PFOS, sus sales y el PFOSF del anexo B del Convenio. Sin embargo, la Conferencia de las Partes decidió en su novena reunión que no hacía falta seguir usando el PFOS, sus sales y el PFOSF en la industria de los semiconductores y, por tanto, decidió suprimir de la lista correspondiente a esas sustancias las dos finalidades aceptables para esas aplicaciones (resinas fotosensibles y revestimientos antirreflejo para semiconductores y decapante para semiconductores compuestos y filtros de cerámica) (decisión SC-9/4).

99. 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. Unas investigaciones revelaron que el PFHxS era la principal PFAS presente en los desechos de una planta de fabricación de semiconductores de la Provincia China de Taiwán (Lin y otros, 2009), dato corroborado por otra información 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. La presencia en el efluente de

cantidades comparables de ambos compuestos indica que el PFHxS es una de las sustancias fundamentales de este proceso (Lin y otros, 2010). Las PFAS (por ejemplo, el PFOS o el PFHxS) no permanecen en los semiconductores; si no se extraen de las aguas residuales antes de la liberación de estas, seguirán el curso de las aguas y se liberarán en el medio ambiente.

100. 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), en las siguientes aplicaciones fotolitográficas, fundamentales para la fabricación de chips semiconductores, se necesitan pequeñas cantidades de compuestos a base de PFOS:

a) Modelado ultrafino y resinas fotosensibles como generadores fotoácidos y surfactantes;

b) Revestimientos antirreflejo como surfactantes de rendimiento excepcional.

101. El PFHxS, al igual que el PFOS, puede usarse de surfactante en la fabricación de semiconductores compuestos y enjuagarse durante el tratamiento de lavado posterior. Además, la Conferencia de las Partes decidió en su novena reunión que la inclusión del PFOA, sus sales y los compuestos conexos del PFOA en el Anexo A debía acompañarse de una exención específica de cinco años, contados a partir de la entrada en vigor de la modificación, para el uso de la sustancia en la fabricación de semiconductores y dispositivos electrónicos (decisión SC-9/12).

102. Durante la evaluación de las alternativas al PFOS se encontraron varias alternativas químicas no fluoradas (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8/Add.1) Se consideró que las siguientes alternativas podían no tener 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 a base de resina fotosensible sin PFOS (Ayothi y otros, 2006). Asimismo, algunas patentes describen composiciones de resinas fotosensibles 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 no fluorado como parte de su abandono de las PFAS. Según la empresa, el proceso sin flúor satisface los requisitos de rendimiento prescritos para las dos exposiciones (en seco y por inmersión) (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 resinas fotosensibles “sin PFOS ni PFAS” destinadas a la industria de semiconductores (https://www.fujifilmusa.com/products/semiconductor_materials/photoresists/krf/index.html#features).

2.3.2 Otros usos

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

104. La Imaging and Printing Association Europe (I&P Europe), asociación que engloba 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 en respuesta a la solicitud del anexo F).

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

105. 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 fundamental 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 de persistir en el medio ambiente, lo que significa que no se eliminan del medio ambiente. Por tanto, 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 tóxicas 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 el objetivo fijado en el Convenio de Estocolmo de evitar los efectos graves e irreversibles que podrían producirse si continúan las emisiones.

2.4.1 Salud pública, ambiental y laboral

106. 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, suprimirlas definitivamente. Como se indica en el perfil de riesgos, el PFHxS ha contaminado en gran medida el medio ambiente, incluidos los seres humanos y la flora y fauna silvestres (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 a PFHxS, por ejemplo, efectos negativos en la función hepática y en el metabolismo lipídico y lipidoproteico, trastornos endocrinos, alteraciones del colesterol, las lipoproteínas, los triglicéridos y la fosfatasa alcalina y efectos en la reproducción. La exposición a la sustancia puede afectar también al cerebro en desarrollo y al sistema inmunitario. 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).

107. Según los resultados de un estudio, 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). Las fuentes de agua potable de muchos países de todo el mundo están contaminadas por el uso generalizado de PFAS en las EFPA y por la práctica, aún vigente en ciertos países, de realizar en campo abierto la instrucción en el manejo de esas espumas, todo ello unido a la persistencia de las PFAS (Gobelius y otros, 2018; Banzhaf y otros, 2017; Mak y otros, 2009; Kabore y otros, 2018; Zefeiraki y otros, 2015; Boiteux y otros, 2012; Ericson y otros, 2009, para más detalles, véase el cuadro 1.6 de 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). La sustancia también se ha detectado en 4.920 fuentes de agua pública, 55 de las cuales presentaban niveles superiores al límite mínimo de notificación (0,03 μg/l), y en 207 de 36.971 muestras (USEPA, 2017).

108. Muchos países han impuesto valores límite a la presencia de determinadas 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, municipios y productores de agua. La red se ocupa sobre todo de dar respuesta al problema de la presencia de PFAS en agua potable, para lo cual estudia soluciones que permitan eliminar las sustancias del suelo y del agua potable, pero también emprende otras iniciativas como la investigación en materia de sustancias perfluoradas. Es una plataforma para entablar comunicación, establecer contactos y dar apoyo a diversos agentes del país (KemI, 2014).

109. En general, las técnicas tradicionales de depuración de agua, como la coagulación con alumbre 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 métodos de saneamiento por 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 analizadas, los niveles de PFHxA, PFOA, PFHxS y PFOS registrados en el efluente presentaban un aumento neto de masa respecto de los niveles del afluente, en concreto unos incrementos medios 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, 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).

110. 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 el efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales para reducir las emisiones al medio ambiente. En unos ensayos de nanofitración de agua desionizada se logró eliminar más del 95 % del PFHxS en los 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 microflitración o ultrafiltración, combinadas con la ósmosis inversa, pueden eliminarse algunas PFAS, entre ellas 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 activo 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).

111. Se ha determinado 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 (promedio=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 en un intervalo de 4,33 a 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 considerablemente mayores que las detectadas en los demás residentes de la zona–, el PFHxS de la dieta iba de 0,067 a 0,448 ng/g de peso húmedo y el del agua potable, de una cantidad no determinada a 3,2 ng/l (Fu y otros, 2015). La ventilación, el uso de equipo personal de protección y la obligación de despojarse de las prendas protectoras en distintas zonas conforme a un procedimiento estricto podrían servir para reducir la exposición.

112. 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 un orden de magnitud mayores que los observados en la población general de Australia y el Canadá. 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 general, o cuando más ligeramente superiores. Este hecho coincide con la retirada, en 2003, de las EFPA fabricadas por 3M de todos los centros de formación y con el uso de espumas sin flúor a partir de 2010, e invita a pensar que la exposición al PFOS y PFHxS presentes en las EFPA habrá disminuido en los últimos años (Rotander y otros, 2015b).

2.4.2 Agricultura, incluidas la acuicultura y la silvicultura

113. La eliminación del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS sería ventajosa para la agricultura y reduciría el riesgo de exposición directa e indirecta que corren los seres humanos y el medio ambiente. Según las investigaciones, la propagación de las PFAS en el suelo agrícola se debe sobre todo 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 de la sustancia, la especie, variedad y medio de cultivo de las plantas (hidroponía 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).

114. 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 otras PFAS en frutas y hortalizas de Europa (Herzke, 2013 y D'Hollander y otros, 2015). En un estudio realizado en Australia con muestras ambientales recogidas principalmente en sitios contaminados, las concentraciones más elevadas de PFHxS se encontraron 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). Unos estudios sobre agropiro cultivado en suelo contaminado con EFPA han puesto de manifiesto la biodisponibilidad y bioacumulación del PFHxS (Bräunig y otros, 2019).

115. A causa del 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 lixiviado de vertederos, indicio de que esos precursores o sus compuestos originales pueden estar usándose 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 y desechos industriales no peligrosos. Se han notificado emisiones atmosféricas procedentes de vertederos y plantas de tratamiento de aguas residuales del PFHxS, y acumulación en hojas cerca de vertederos (Ahrens y otros, 2011; Tian y otros, 2018).

116. 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 unas plantas fluoroquímicas (Zhou y otros, 2014; Cui y otros, 2018).

2.4.3 Aspectos económicos y costos sociales

Prohibición del uso

117. A la luz de los conocimientos actuales, 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 ha señalado ningún uso crítico ni 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 se acabaría también con el PFHxS generado como subproducto no intencional de la fabricación de PFOS. Por tanto, según lo que se sabe a día de hoy, cabe esperar que la industria pueda sustituir todos los usos actuales del PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS sin sobrellevar un costo socioeconómico importante (RPA, 2019). Varios países ya han introducido algunas normas relativas a las PFAS de cadena larga que incluyen el PFHxS (véase sección 1.5).

118. 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 prescritas contra la presencia simultánea de PFOS, PFOA, PFCA de C_9 a $C_{14,}$ y PFHxS y sus compuestos conexos en un mismo artículo. 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). Así pues, la aplicación de las normas específicas del PFHxS debería tener un costo pequeño, aunque son de prever algunos gastos en 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 formular métodos analíticos capaces de distinguir con claridad entre las sustancias objeto de restricción y las exentas (como se examina en las evaluaciones del RAC y el SEAC relativas a los PFCA de C_9 a C_{14} y en la propuesta de restricción del PFOA conforme al REACH (ECHA, 2018, 2015)).

119. En un estudio realizado por Oosterhuis y otros (2017) a fin de suministrar información que pudiese servir de referencia para evaluar la proporcionalidad de las medidas de control del PFOA, el PFOS y otros contaminantes orgánicos persistentes, se analizaron las estimaciones de eficacia en función de los costos de las medidas normativas ya aplicadas o examinadas. Los datos disponibles indican que las medidas de reducción del uso o las emisiones cuyo costo sea inferior a 1.000 €/kg de la sustancia no suelen rechazarse, mientras que las medidas cuyo costo supere los 50.000 €/kg se rechazarán con toda probabilidad. Sin embargo, no se ha podido vincular la decisión de rechazar o aceptar una medida a ningún parámetro concreto de proporcionalidad, pues rara vez se formulan declaraciones explícitas sobre “costos desproporcionados”.

120. Según un estudio en que se usaron los escasos datos disponibles en relación con el PFHxS, sus sales y las sustancias conexas del PFHxS, es probable que la eliminación de las EFPA cuyo principal ingrediente fluoroactivo es el PFHxS tengan un costo proporcionado, mientras que el costo de la eliminación del PFHxS presente en las espumas a base de PFOS como subproducto accidental probablemente resulte desproporcionado debido a que el volumen de la sustancia que se busca (PFHxS) se prevé muy pequeño en comparación con la enorme cantidad de espuma que debe analizarse. Sin embargo, ese estudio no tuvo en cuenta una posibilidad ventajosa como es la de extraer simultáneamente el PFOA y el PFOS de la espuma que contiene PFHxS de forma no intencional (RPA, 2019).

Control de las descargas y las emisiones

121. Los costos sociales y sanitarios vinculados a la ansiedad, las operaciones de limpieza sufragadas con impuestos y las pérdidas económicas debidas a la reducción del valor de la propiedad y la merma de los ingresos, por ejemplo, a causa de la contaminación de terrenos agrícolas y del ganado, son elevados en las zonas que reciben agua contaminada con PFAS o cuyo suelo está contaminado con estas sustancias (NCM, 2019). Cada vez hay más pruebas de que la contaminación de las aguas subterráneas con productos químicos fluorados es un problema grave que afecta a la agricultura, la pesca y el precio de los bienes raíces y suscita una preocupación pública y política considerable que tiene consecuencias legales sumamente costosas y perjudiciales (NCM, 2019). Los costos acumulados del uso de EFPA durante toda la vida del producto son muy superiores a los de las espumas sin flúor, simplemente por los problemas jurídicos y financieros que acarrea el empleo de una espuma a base de sustancias fluoradas (IPEN, 2018). Un reciente análisis socioeconómico de los efectos de la exposición a las PFAS en el medio ambiente y la salud, publicado por el Consejo Nórdico, cita como ejemplos de costos cuantificables el menoscabo de la reputación de las empresas contaminantes, las indemnizaciones por daños y perjuicios y los acuerdos económicos extrajudiciales

(NCM, 2019). Por ejemplo, el Gobierno de Australia anunció 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 (38,3 millones de dólares de los Estados Unidos) se gastarían a lo largo de un quinquenio en el abastecimiento de agua potable segura. El Gobierno ya ha gastado más de 100 millones de dólares australianos (69,4 millones de dólares de los Estados Unidos) en el control de las PFAS y aún no ha emprendido ninguna labor de rehabilitación (NCM, 2019). 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 para las comunidades afectadas (como se describe en NCM, 2019).

122. El PFHxS tiene la vida media en el ser humano más prolongada de todas las PFAS conocidas y está presente en la mayoría de las muestras ambientales y de biota que se analizan (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 causalidad directa entre niveles de la sustancia y distintos parámetros de valoración clínicos, y porque, además, sería difícil deslindar los impactos del PFHxS de los de otras PFAS de efectos parecidos, como el PFOS. Sin embargo, según las conclusiones del análisis socioeconómico del estudio del Consejo Nórdico, los costos de la inacción son considerables: 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 nórdicos[3] y entre 52.000 millones y 84.000 millones en el total del Espacio Económico Europeo (EEE). Los costos no relacionados con la salud de los países nórdicos totalizan entre 46 millones y 11.000 millones de euros (NCM, 2019). El informe se basa en la monetización de algunos parámetros de valoración clínica vinculados con la exposición a PFAS, como el cáncer de riñón, la hipertensión y la mortalidad en general. No se han monetizado los efectos en los niños, como el peso bajo al nacer y la infección (días con fiebre por efectos en el sistema inmunológico), pero sí los costos no sanitarios relativos a la depuración de los recursos de agua potable y la rehabilitación de los suelos contaminados. En un estudio sobre el costo que acarrea la contaminación de agua potable con PFAS en dos casos ilustrativos, se estimó que las actividades de filtración del agua mediante carbón que se llevaban a cabo en Uppsala costaban un millón de euros anuales, cantidad que se triplicó en el caso de la instalación de una nueva red de abastecimiento de agua en Ronneby, pequeña localidad sueca que en 2013 fue escenario de la detección de unos niveles elevados de PFAS que afectaban directamente a cerca de 5.000 hogares (KemI, 2016). Además, la exposición a las PFAS, incluido el PFHxS, por la vía del agua potable supone un costo social por cuanto ocasiona más problemas de salud y ansiedad en la población afectada.

123. 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 fabricadas a base de 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 en un estudio, desde concentraciones bajas y pequeñas cantidades residuales en el suelo a instalaciones muy contaminadas que emiten sustancias a los lagos y fiordos cercanos. Está en marcha la rehabilitación de varios aeropuertos, pero aún se desconoce el costo exacto de esa tarea. Hay constancia de que los filtros cuyo uso se propone, hechos de carbón activado, 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 en un aeropuerto concreto (Evenes) podrían ascender a 50 millones de coronas noruegas (6,5 millones de dólares de los Estados Unidos) en un período de treinta años. En cuanto a la instalación del sistema de bombeo y depuración del agua, se estima un costo 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 una corriente de agua no tenga efectos perniciosos en el lago o el fiordo receptores (Alling y otros, 2017). Si la rehabilitación se lleva a cabo de forma adecuada, podría garantizarse el 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 conseguidas con las medidas de rehabilitación adoptadas.

Gestión de los desechos y las existencias

124. Como se ha mencionado más arriba, según las estimaciones de 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 expone de forma esquemática el destino de diversos productos basados en PHxSF durante el uso y la eliminación y se señalan las rutas de las corrientes de desechos que pueden dar lugar a emisiones de PFHxS al medio ambiente (gráfico S6). Estas emisiones pueden producirse a través de las aguas residuales (gases, efluentes y fangos) y de los desechos sólidos (incinerador, vertederos, tratamiento en tierra). Además, pueden producirse emisiones directas como consecuencia del uso.

125. De conformidad con el párrafo 1 d) ii) del artículo 6, los productos que contengan PFHxS 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 presenten las características de contaminante orgánico persistente o, de no ser así, se eliminen en forma ambientalmente racional. La gestión y eliminación de desechos especiales relacionados con el PFHxS pueden ser costosas. Debido al uso de la sustancia en la impregnación de textiles, esta corriente de desechos podría resultar afectada. Además, el uso generalizado en varias categorías de productos tendría repercusiones en los desechos domésticos, los desechos electrónicos y los vehículos al final de su vida útil. La capacidad de incineración de alta temperatura podría plantear un problema. Para los países en desarrollo, la ONUDI ha recomendado diversas técnicas eficaces que no requieren combustión, entre ellas dos métodos adecuados para la destrucción de PFAS como son la reducción química en fase gaseosa y los molinos de bolas (ONUDI, 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 cataloga 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 C_4 a C_8 (AECOM, 2018). Además, la coincineración 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 combustión, la temperatura a la que estas tiene lugar y el alcance de la destrucción (US Air Force, 2017). También se ignoran 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).

126. El Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes ya elaboró una serie 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 plazo. Dado que las pautas de uso del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos son similares a las del PFOS, esas recomendaciones son en su mayoría aplicables al PFHxS, por ejemplo: “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. Emprender 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 aledaños a esos vertederos y también los que se encuentren en la cercanía de zonas donde se produce y utiliza el PFOS debería ser analizada”.

127. También se detallaron recomendaciones para reducir el riesgo derivado del uso, las existencias, el reciclaje de artículos, los productos de consumo depositados en vertederos municipales y las liberaciones procedentes de sitios contaminados (decisión POPRC-6/2).

2.4.4 Avances hacia el desarrollo sostenible

128. La eliminación del PFOA 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, el desarrollo sostenible y la reducción de la pobreza. La gestión ambientalmente racional de las “sustancias químicas tóxicas”, desechos incluidos, forma parte de la Agenda 21 y la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, y es un componente del Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional, mecanismo que centra su labor en la reunión e intercambio de información sobre los productos químicos perfluorados y el apoyo a la transición hacia alternativas más seguras. La Estrategia de Política Global del Enfoque Estratégico considera prioritaria la interrupción de la producción y el uso de las PFAS y su sustitución por productos más seguros.

2.5 Otras consideraciones

129. La inclusión del PFHxS en el anexo A sin exenciones exigirá la adopción de medidas de control que resulten fáciles de comunicar, por lo que habrán de ser eficaces y adecuadas, también en los países que adolezcan de una infraestructura reglamentaria escasa en materia de sustancias químicas. La información sobre las alternativas puede obtenerse con facilidad y transmitirse en función de las necesidades. En lo que respecta a la vigilancia ambiental y la vigilancia biológica, el PFHxS puede agregarse 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

130. En las páginas web de varias de las Partes, los observadores y las organizaciones no gubernamentales se ofrece información sobre las PFAS y contenidos 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.

2.5.2 Estado de la capacidad de control y vigilancia

131. El PFHxS es objeto de varios programas de vigilancia.

132. El Canadá vigila la presencia del PFHxS en la atmósfera en virtud de la inclusión de la sustancia entre los compuestos vigilados por la red Global Atmospheric Passive Sampling (desde 2009) y el Northern Contaminants Program (NCP) (desde 2006), y en la atmósfera y las precipitaciones (desde 2006 y 2019, respectivamente) mediante el programa Great Lakes Basin (GLB) Monitoring and Surveillance del Plan de Gestión de los Productos Químicos.

133. En el marco de las Encuestas Ambientales y del Banco de Muestras Ambientales, ambos de Alemania, se llevan a cabo labores de vigilancia de la presencia de la sustancia en la sangre, en concreto 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 las tendencias (información presentada por Alemania con arreglo al anexo F). Las PFAS, entre ellas el PFHxS, se han incluido en el Programa de Vigilancia del Medio Ambiente de Suecia (Naturvardsverket) y en el programa conexo 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, la Canadian Health Measures Survey (CHMS) y la Canadian Maternal-Infant Research on Environmental Chemicals (MIREC). De 2007 a 2009 y de 2009 a 2011 se vigiló la presencia del PFHxS en la población canadiense mediante la CHMS (Government of Canada, 2013). En 2018 la Encuesta Nacional sobre Salud Ambiental de la República de Corea (KoNEHS) comenzó a vigilar cinco tipos de PFAS, entre ellos el PFHxS (información presentada por la República de Corea en respuesta a la solicitud del anexo F).

134. La Iniciativa Europea de Biomonitorización Humana (HBM4EU), programa conjunto europeo coordinado por la Agencia Alemana para el Medio Ambiente, ha catalogado diversos compuestos 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 HBM4EU se medirán los niveles séricos de PFHxS en adolescentes de 12 a 19 años de toda Europa (Schoeters y otros, 2018).

135. Noruega lleva a cabo un seguimiento anual de su atmósfera, agua dulce y biotas marina y terrestre que incluye el PFHxS (http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Miljoovervakning/Naturovervaking/Giftfritt-miljo/).

136. Hay información disponible sobre la vigilancia de diversas PFAS, incluido el 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.

3. Resumen de la información

3.1 Resumen de la información sobre el perfil de riesgo

137. En su 14ª reunión, celebrada en 2018, el Comité de Examen aprobó el perfil de riesgo 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 tengan importantes efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente que justifiquen la adopción de medidas a nivel mundial.

138. 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 otros compuestos, por ejemplo, el PFOS. No hay mucha información sobre la fabricación 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.

139. 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 concluir 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 previstos. En vista de la bioacumulación conexa por unión a proteínas que se ha detectado, los valores estándar de FBC y FBA 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).

140. El PFHxS está muy extendido en el medio ambiente y la biota de todo el mundo. Varios estudios han notificado 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) de 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 la sustancia también se ha detectado 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, esos compuestos conexos se transformen en PFHxS por degradación.

141. Los seres humanos están expuestos al PFHxS principalmente a través de 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 más detectada 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 séricos de PFHxS a causa del prolongado tiempo de eliminación en los seres humanos.

142. 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, entre ellas el PFHxS.

143. Uno estudios recientes con osos polares de Svalbard (Noruega) han puesto de manifiesto el aumento de los niveles plasmáticos de PFHxS en 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 las sustancias tengan efectos adversos en la vida silvestre. La exposición combinada a las PFAS y otros contaminantes orgánicos persistentes tiene consecuencias desconocidas y podría aumentar la toxicidad en las especies sometidas a mucho estrés.

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

144. 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 tendría efectos positivos en la salud humana y el medio ambiente.

145. 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 C_6, C_8 y C_{10} era 3M, que produjo la sustancias desde 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 de esa PFHxS en los Estados Unidos. Después del abandono de la producción por 3M, el PFHxS siguió fabricándose en Italia por una empresa que anunciaba la sustancia y sus precursores, hasta que en noviembre de 2018 se declaró en quiebra. 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 la fabricación de otros PFSA por fluoración electroquímica (FEQ). Algunos productos a base de PFOSF pueden contener hasta un 10 % de PFHxS en forma de impurezas accidentales si no se extraen para aumentar la pureza.

146. Hasta donde sabemos, 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, en ocasiones, 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 podrían ser los plaguicidas, los pirorretardantes, el papel, los utensilios de cocina y la industria petrolífera. Además, el PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos se han usado en ciertos productos de consumo que contienen PFAS.

147. La evaluación periódica de las alternativas al PFOS en el marco del Convenio de Estocolmo ha puesto de manifiesto la existencia de opciones sustitutivas para todas las aplicaciones posibles que también podrían ser válidas para el PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos. Esas alternativas comprenden sustancias fluoradas y no fluoradas y soluciones técnicas no químicas. Según la información sobre la disponibilidad, la accesibilidad y el precio de las opciones alternativas, y sobre las medidas reglamentarias y el uso en diversos países, los costos socioeconómicos de la aplicación de una prohibición o restricción del uso del PFHxS se consideran pequeños y quedan compensados por las ventajas de la eliminación o la regulación. Se calcula que la rehabilitación de lugares contaminados, como aeropuertos y centros de adiestramiento en manejo de espumas ignífugas, ya sean antiguos o en uso, y vertederos de desechos industriales y desechos peligrosos, y 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.

148. 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 de superficie, las aguas abiertas, el agua potable, las plantas de tratamiento de aguas residuales, los lixiviados de vertederos, los sedimentos, las aguas subterráneas, los suelos, la atmósfera, el polvo, la biota (incluida la fauna y flora silvestres) y los seres humanos de todo el mundo. Para reducir las concentraciones de la sustancia en el medio ambiente será imprescindible adoptar medidas de control eficientes en materia de 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 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. Hoy por hoy, la escasez de conocimientos sobre el uso del PFHxS, sus sales y sus compuestos conexos y la falta de métodos analíticos normalizados para detectar y cuantificar algunos de esos compuestos conexos por separado 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 los productos nuevos que se comercialicen por primera vez, debería ser posible 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

149. No se ha señalado ningún uso crítico ni se han solicitado exenciones. En la actualidad no consta que se produzca PFHxS como consecuencia no intencional de la incineración, por lo que no hace falta incluirlo en el anexo C. En consecuencia, la medida de control que se propone para lograr la “prohibición o restricción de la producción, el uso, la importación y la exportación” es incluir el PFHxS, sus sales y los compuestos conexos del PFHxS en el anexo A del Convenio sin exenciones.

4. Conclusión

150. 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, en caso de transporte a larga distancia en el medio ambiente, tengan 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. US 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. USEPA 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. Procedings 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 (2016). Health Based Guidance Values for PFAS FOR USE IN SITE INVESTIGATIONS IN AUSTRALIA. http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/2200FE086D480353CA2580C900817CDC/$File/fs-Health-Based-Guidance-Values.pdf

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. Quimiosfera. 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. Quimiosfera. 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 C_4–C_{10} Perfluoroalkanesulfonic Acids (PFSAs) and Related Precursors: Focus on the Life Cycle of C_6- and C_{10}-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.

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.

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 fødevareministeriet, Fødevarestyrelsen. Fluorerede stoffer i fødevarekontaktmaterialer (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. Miljøprosjekt 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 (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. Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria; 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, Kärrman 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

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 CF3·[CF2]n·SO3H (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.

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. Quimiosfera. 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, Schaider 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). 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)

Keutel K, Koch M (2016) Untersuchung fluortensidfreier Löschmittel und geeigneter Löschverfahren 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 -. Arbeitgemeinschaft 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, Jürling 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 (Minnsota Department of Health). http://www.health.state.mn.us/divs/eh/hazardous/topics/pfcshealth.pdf

MIL-F-24385 is a US 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

Naturvardsverket, Sweden: http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Miljogiftssamordning/.

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) (C_5-C_7) 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 precusors 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

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, Luttikhuizen 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, Burris 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.

Schröter-Kermani C, Müller J, Jürling 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).

Strynar M, Dagnino S, McMahen 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=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCfg%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

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.

US Air Force (2017). AFFF disposals STTR. Available at: https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/1254657.

US 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/

US 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.

USEPA (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

USEPA (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

USEPA (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 (PFSAs) 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. Contaminación ambiental. 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 C_2 and C_3 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 sulfonamidein 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.