



**Programa de las
Naciones Unidas
para el Medio Ambiente**

Distr.
GENERAL

UNEP/OzL.Pro/ExCom/96/60
6 de mayo de 2025

ESPAÑOL
ORIGINAL: INGLÉS

COMITÉ EJECUTIVO DEL FONDO MULTILATERAL
PARA LA APLICACIÓN DEL
PROTOCOLO DE MONTREAL
Nonagésima sexta reunión
Montreal, 26–30 de mayo de 2025
Punto 11 del orden del día provisional¹

**INFORME ACTUALIZADO SOBRE LA CUESTIÓN DE LAS ALTERNATIVAS EN LA
FABRICACIÓN DE ESPUMAS DE POLIURETANO, CENTRADO EN LAS PEQUEÑAS Y
MEDIANAS EMPRESAS, EN PARTICULAR PARA APLICACIONES DE ESPUMAS
PROYECTADAS Y AISLANTES (DECISIÓN 94/58 c))**

Introducción

1. En respuesta a una solicitud formulada por el Comité Ejecutivo en su 93ª reunión, la Secretaría elaboró para la 94ª reunión un “Documento sobre la cuestión de las alternativas en la fabricación de espumas de poliuretano” (documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58), en el que se ofrece una visión general de los proyectos de eliminación de los HCFC aprobados en el sector de las espumas de poliuretano (PU) que han recibido asistencia del Fondo Multilateral, la experiencia adquirida en la ejecución de esos proyectos, las mejores prácticas aplicadas, información sobre cada alternativa de bajo potencial de calentamiento atmosférico (PCA) adoptada en el sector de las espumas de poliuretano a través de los proyectos financiados, y sobre los precios y la disponibilidad de agentes espumantes, los retos identificados y las observaciones sobre la adopción de esas tecnologías por región.

2. Durante las deliberaciones de la 94ª reunión, un miembro señaló que la disponibilidad de HFO continuaba siendo escasa y sus precios seguían siendo elevados, cuestionó la sostenibilidad de la conversión a otras alternativas, algunas de las cuales eran consideradas por las empresas como inadecuadas para determinadas aplicaciones, y destacó las repercusiones económicas más amplias para los países del artículo 5, el riesgo de incumplimiento de sus obligaciones en virtud de los acuerdos de financiamiento con el Comité Ejecutivo y las consiguientes sanciones económicas. Se reconocieron las continuas dificultades que enfrentan las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en relación con la disponibilidad de HFO, y dos miembros señalaron que si bien algunos países habían logrado transiciones satisfactorias, la aplicación parecía ser más difícil para otros, con niveles de progreso que variaban entre las regiones y dentro de ellas.

3. Tras esos debates, el Comité Ejecutivo decidió pedir a la Secretaría, entre otras cosas, que:

- a) En conjunto con los organismos de ejecución, elaborara un documento para presentar a la

¹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/96/1

consideración del Comité en la 95ª reunión, con datos actualizados sobre la disponibilidad de tecnologías; precios de las alternativas ya seleccionadas en proyectos vigentes del sector de espuma de poliuretano en PYMES; programas orientados a facilitar el acceso a alternativas de bajo PCA, y actuales barreras al acceso a tales programas por parte de proveedores de sistemas en países del artículo 5; y

- b) Actualizara su informe, contenido en el documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58, para consideración en la 96ª reunión, haciendo hincapié en las PYMES en el sector de fabricación de espuma de poliuretano, en particular con respecto a aplicaciones de espuma proyectada y aislante².

4. En la 95ª reunión, en respuesta a la decisión 94/58 b) y tras celebrar consultas con los organismos de ejecución y los representantes de tres empresas de producción de HFO, la Secretaría presentó el documento “Actualización de la información sobre tecnologías alternativas en el sector de fabricación de espuma de poliuretano para los países del artículo 5” (documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/85), con información sobre la disponibilidad y precios de la tecnología, programas para facilitar el acceso a alternativas de bajo PCA y barreras al acceso a tales programas por parte de las empresas locales. Al examinar el documento, un miembro señaló que, si bien se habían logrado algunos avances en la mejora del acceso a tecnologías alternativas por parte de los países del artículo 5, la cuestión aún no se había resuelto por completo. Otro miembro valoró que algunos países hubieran optado por alternativas distintas de los HFO, mientras que un tercero aclaró que el documento tenía por objeto ayudar a las PYMES a adoptar alternativas no inflamables y no corrosivas. Un miembro destacó la necesidad de disponer de datos más detallados para ayudar a los países del artículo 5 a evaluar la sostenibilidad de la adopción de la tecnología con HFO. Otro reconoció que se habían logrado avances, aunque de forma desigual entre los países, y destacó las importantes diferencias de precio de las alternativas, por lo que apoyó que la Secretaría presentara una actualización en la 96ª reunión para determinar si el Comité Ejecutivo debía adoptar nuevas medidas. Otro miembro, reconociendo los progresos realizados para garantizar mejores precios para los HFO, pero señalando que la cuestión no se había resuelto, consideró importante que el Comité siguiera examinando el asunto en la 96ª reunión.

5. Tras esos debates, el Comité Ejecutivo decidió, entre otras cosas:

- a) Examinar la información contenida en el documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/85 al debatir la cuestión de las alternativas en el sector de las espumas de poliuretano; y
- b) Tomar nota de que la Secretaría actualizaría el informe contenido en el documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58 para su consideración en la 96ª reunión, de conformidad con la decisión 94/58.

6. En consecuencia, el presente documento se preparó de conformidad con las decisiones 94/58 c) y 95/85 c), sobre la base de las aportaciones escritas del PNUD, la ONUDI y el Banco Mundial, en las que se describían sus experiencias en la ejecución de proyectos en el sector. Representa una actualización de los documentos UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58 y UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/85 y debe leerse conjuntamente con ambos documentos³.

Información actualizada sobre proyectos de eliminación de HCFC y de reducción de HFC en el sector de fabricación de espumas de poliuretano asistidos por el Fondo Multilateral

7. En los párrafos 4 a 8 del documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58 se presenta información detallada sobre el número de proyectos aprobados en el sector de las espumas de poliuretano en el marco

² Decisión 94/58 b) y c)

³ Incluido como documento de referencia en el punto 11 del orden del día.

de los planes de gestión para la eliminación de HCFC (PGEH) y los PAK, y el consumo asociado abordado. Desde entonces, en su 95ª reunión el Comité Ejecutivo aprobó, como parte del PAK para Nigeria, un proyecto de asistencia técnica para eliminar 472,50 tm o 375.165 toneladas de CO₂ equivalente de HFC-365mfc en dos empresas de espuma de poliuretano con el fin de adoptar ciclopentano, HFO y otras alternativas de bajo PCA. En su 96ª reunión, el Comité Ejecutivo también está examinando proyectos en el sector de las espumas de poliuretano presentados como parte del PAK para Egipto.

Información actualizada sobre la disponibilidad y los precios de alternativas con bajo potencial de calentamiento atmosférico y los problemas conexos que enfrentan los fabricantes de espuma proyectada, incluidas las pequeñas y medianas empresas

8. A fin de actualizar los informes que figuran en los documentos UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58 y UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/85, la Secretaría solicitó información a los organismos de ejecución que participan en proyectos relacionados con la espuma de poliuretano. Más concretamente, se pidió a los organismos que proporcionaran información actualizada sobre la disponibilidad y los precios actuales de las tecnologías de bajo PCA en los países del artículo 5; los principales retos que enfrentan las PYMES para adoptar tecnologías de bajo PCA en el sector de las espumas de poliuretano, en particular para aplicaciones de espuma proyectada y aislante; las medidas adoptadas para hacer frente a esos retos, incluidas las cuestiones técnicas, las inquietudes en materia de seguridad y ambientales y otros obstáculos; y los retos pendientes y las posibles estrategias o ideas para superarlos. A continuación, se presenta la información proporcionada por los organismos de ejecución.

9. El PNUD proporcionó información actualizada sobre los proyectos de espumas de poliuretano ejecutados en ocho países, como se indica a continuación:

- a) En el Brasil, se completó el plan para el sector de espumas de poliuretano con la conversión de grandes empresas al ciclopentano y la asistencia prestada a través de proveedores de sistemas para convertir a 200 usuarios secundarios, incluidas PYMES, al formiato de metilo, sistemas a base de agua, metilal y HFO. Si bien los retos señalados en reuniones anteriores siguen existiendo (por ejemplo, la disponibilidad de HFC a precios competitivos), los usuarios finales han adoptado alternativas de bajo PCA. Actualmente se dispone de HFO, con precios que oscilan entre USD 14,00 y 18,00 por kilogramo (kg);
- b) En Chile, se completó el proyecto de espuma de poliuretano, que incluye PYMES. Como se informó anteriormente, los grandes usuarios (es decir, los fabricantes de paneles continuos) utilizan ciclopentano y los usuarios medianos y pequeños, incluidos los usuarios de espuma proyectada, utilizan HFO, agua, formiato de metilo y HFC. Todas las tecnologías son importadas y no hay problemas de suministro de polioles totalmente formulados que contengan HFO, formiato de metilo o HFC, pero se han producido algunos retrasos en la cotización y el envío de HFO. Los precios de los polioles totalmente formulados por los proveedores de sistemas chilenos siguen siendo USD 3,30/kg para los sistemas de base acuosa y USD 5,50/kg para las mezclas a base de HFO. Las diferencias entre los polioles formulados con HFC y HFO son del 5 % o más para las aplicaciones en espuma proyectada, y del 10 % para las aplicaciones inyectadas;
- c) En Colombia, se completó el proyecto de espuma de poliuretano, que incluye PYMES. Si bien no hubo problemas con la disponibilidad de HFO, persisten los retos en materia de precios, lo que afecta a la adquisición de catalizadores y otros aditivos necesarios para desarrollar formulaciones de polioles a base de HFO. No se han notificado variaciones en los precios (entre USD 17,00 y 19,00/kg para los HFO). Un proveedor de sistemas informó sobre retrasos en el suministro debido a limitaciones logísticas del principal productor de HFO;

- d) En Costa Rica, se completó el proyecto relativo a la espuma de poliuretano (que no incluía PYMES). El país importa pequeñas cantidades de sistemas a base de HFO, cuyo suministro parece estable; como se informó anteriormente, no se identificaron problemas;
- e) En Egipto, se completó el proyecto relativo a la espuma de poliuretano, que incluía PYMES. Las grandes empresas adoptaron el ciclopentano, fácilmente disponible en el mercado. Las PYMES utilizan diferentes tecnologías en función del proveedor de sistemas, entre ellas HFC, formiato de metilo y HFO. El único reto que enfrentaron inicialmente las PYMES fueron los precios más elevados de las alternativas en comparación con el HCFC-141b; sin embargo, este problema se resolvió gracias a una mayor disponibilidad de alternativas;
- f) En la India, el plan para el sector de las espumas de poliuretano, que incluía PYMES, se completó con la conversión de 158 empresas al ciclopentano, el formiato de metilo y, en varios casos, a los HFO. Los precios siguen siendo los comunicados en reuniones anteriores: USD 24,00/kg para los HFO; USD 2,00/kg para el ciclopentano puro o USD 3,00/kg premezclado; y USD 2,00/kg para el formiato de metilo y los sistemas de base acuosa;
- g) En México, han comenzado las actividades con los proveedores de sistemas aprobados en el marco del PAK para el plan del sector de las espumas de poliuretano. Se incluyen PYMES en el proyecto y se analizarán alternativas a los sistemas basados en HFC; y
- h) En Uruguay, como se describió en la 94ª reunión, de las 21 empresas incluidas en el plan, una se convirtió al ciclopentano, tres a HFO, y 17 no completaron la conversión debido a la falta de disponibilidad de sistemas a base de HFO; los saldos no utilizados se devolvieron al Fondo.

10. La ONUDI proporcionó información actualizada sobre los proyectos de espumas de poliuretano ejecutados en cinco países, como se indica a continuación:

- a) En Argentina, si bien un proveedor siguió informando que no podía suministrar HFO para el mercado interno antes de 2026, otros dos reafirmaron su capacidad de suministro inmediato, con la posibilidad de reducir para futuras compras los plazos de entrega inicialmente estimados en 90 a 120 días. Los proveedores de sistemas locales confirmaron que habían encontrado un precio asequible para la transición; casi todos ellos han realizado los primeros pedidos de HFO, y las primeras importaciones se entregarán en contenedores de una tonelada que deberán devolverse para su reutilización. Un proveedor informó que no podía garantizar las cantidades solicitadas por los proveedores de sistemas debido a la escasez de contenedores para el transporte, un problema que aún no se ha resuelto. Aunque algunas empresas siguen utilizando HFC como alternativas al HCFC-141b de forma transitoria, el Gobierno reiteró que no se trataba de una solución a largo plazo y señaló que el país seguía necesitando el apoyo de los países productores de HFO para garantizar el suministro local⁴;
- b) En Ecuador, los sistemas a base de ciclopentano se utilizaban principalmente para la refrigeración comercial y la fabricación de paneles (continuos y discontinuos). Algunas empresas han probado sistemas a base de HFO con resultados prometedores, y otras tienen previsto realizar ensayos en el corto plazo. Las PYMES dependen de distribuidores vinculados a proveedores de sistemas extranjeros. Algunos distribuidores aún tienen

⁴ También se examinan en el documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/96/11 sobre proyectos con requisitos específicos de presentación de informes.

existencias de polioles premezclados a base de HFC, que se espera que duren hasta 2026. El precio de los polioles a base de HFC es de USD 4,00/kg, y el de los polioles a base de HFO es de USD 7,00/kg. Los precios han aumentado recientemente debido al incremento de los costos de transporte internacional y a los ajustes arancelarios nacionales sobre los insumos químicos importados. Algunos de los problemas que enfrentan las PYMES incluyen la disponibilidad y los costos relativamente más bajos de los sistemas a base de HFC, lo que ha retrasado su transición a tecnologías a base de HFO, las cuestiones de seguridad y la elevada inversión de capital necesaria para adoptar los hidrocarburos;

- c) En Marruecos, la conversión al ciclopentano aún no se había completado; por lo tanto, no se proporcionó información actualizada sobre la disponibilidad y el precio de la sustancia. En general, los sistemas a base de ciclopentano (y formiato de metilo) tienen canales de adquisición más estables y ofrecen el costo más bajo (EUR 2,63–2,66/kg de espuma, en comparación con EUR 3,28/kg para los sistemas a base de HFO-1233zd(E) y EUR 3,49/kg para los sistemas a base de HCFC-141b)⁵. Los sistemas a base de HFO también enfrentan riesgos en la cadena de suministro;
- d) En Pakistán, el precio del HFO-1233zd(E) a granel es USD 20,00/kg, el del HFO-1336mzz(Z) a granel es USD 30,00/kg, y los polioles a base de HFO se estiman en USD 4,75/kg. Algunos de los retos que plantean los HFO son que las materias primas deben mantenerse a una temperatura de entre 20 y 25 °C antes de transferirse a la máquina de espumado o de espuma proyectada para evitar problemas de procesamiento; y que las formulaciones que utilizan HFO-1233zd(E) (o formiato de metilo) contienen niveles más bajos de agente espumante, lo que puede provocar abultamientos en la superficie de los recipientes térmicos, un problema que sigue sin resolverse; y
- e) En Túnez, una empresa de espuma de poliuretano esperó varios meses para recibir una muestra de 28 kg de HFO-1233zd(E) para probarla en líneas de producción reconvertidas. La muestra, obtenida a través de un intermediario, tuvo un costo de EUR 67,44/kg, un precio insostenible, especialmente para las PYMES. En cambio, comprar directamente al productor a granel (por ejemplo, 9.000 litros) podría reducir el costo a aproximadamente EUR 16,00/kg⁶. La empresa está ahora en contacto directo con el productor, que se espera que garantice un suministro regular a este precio más asequible.

11. El Banco Mundial proporcionó información actualizada sobre los proyectos de espumas de poliuretano ejecutados en cuatro países, como se indica a continuación:

- a) En China, se está ejecutando el plan para el sector de las espumas de poliuretano, que incluye PYMES. Los precios de las alternativas son de USD 12,00–16,00/kg para el HFO-1233zd(E), USD 30,00–35,00/kg para el HFO-1336mzz(Z) y USD 8,00–10,00/kg para el HFC-245fa, dado que China es el principal proveedor de HFO y HFC-245fa de la región. Un proveedor de sistemas local desarrolló su propia tecnología de espuma proyectada de dióxido de carbono supercrítico (CO₂) en colaboración con una universidad local y comenzó a fabricar tanto la formulación como el equipo para aplicarla, con los siguientes resultados:
 - i) El CO₂ supercrítico se puede utilizar solo o con pequeñas cantidades de HFC o HFO. Si bien podría producir una espuma de mejor calidad que la generada solamente con agua, aún necesitaría HFO y HFC adicionales en la formulación

⁵ Basándose en el tipo de cambio del euro frente al dólar de los Estados Unidos de 1:1,13 (a 5 de mayo de 2025), estos precios corresponden a USD 2,98–3,01/kg para la espuma a base de ciclopentano, en comparación con USD 3,71/kg para los sistemas a base de HFO-1233zd(E) y USD 3,95/kg para los sistemas a base de HCFC-141b.

⁶ Lo que corresponde a USD 76,31/kg y USD 18,11/kg, respectivamente.

- para cumplir con la norma de China para el valor de aislamiento, aunque con una proporción menor de HFO o HFC que las formulaciones normales sin CO₂ líquido;
- ii) Se desarrolló una máquina de espuma proyectada para esta tecnología con tres insumos de materia prima (es decir, MDI⁷, poliol formulado a base de agua, HFO o HFC, y CO₂ líquido). La máquina transformaría el CO₂ líquido en CO₂ supercrítico como un insumo adicional en el dispensador de espuma;
 - iii) Los técnicos necesitarían capacitación adicional sobre el uso de la máquina, ya que requiere una aplicación continua para garantizar una mezcla uniforme de los tres insumos;
 - iv) El proveedor de sistemas actualmente alquila una unidad a los contratistas que utilizan su sistema formulado. Las unidades no están a la venta debido a inquietudes relacionadas con la ingeniería inversa, que impediría recuperar la inversión estimada en investigación y desarrollo;
- b) En Indonesia y Viet Nam, se completaron los proyectos que incluían PYMES. No se informaron problemas de disponibilidad de tecnología; sin embargo, el costo de los materiales sigue siendo el principal factor decisivo en la elección de la tecnología. Los precios de los HFO y el HFC-245fa en China pueden utilizarse como referencia, añadiendo ligeros aumentos debido al transporte, la manipulación y otros factores; y
 - c) En Tailandia, el proyecto de espuma de poliuretano que incluye PYMES está en curso. El costo de las formulaciones a base de HFO ha sido el principal factor que ha impedido su adopción generalizada en el sector de la espuma proyectada. El precio del HFO-1233zd(E) es de aproximadamente USD 18,00/kg, y el del HFO-1336mzz(Z) es de aproximadamente USD 35,00/kg. Los incrementos estimados en el costo de las dos formulaciones de HFO, en comparación con los sistemas a base de HCFC-141b, son del 70,6 % y del 127 %, respectivamente. Un factor que influye en el costo es el peso molecular del HFO-1336mzz(Z) (164 g/mol), que es superior al del HFO-1233zd(E) (130,5 g/mol) y, por lo tanto, requiere más HFO-1336mzz(Z) en peso para el sistema con una fracción molar similar.

Observaciones

12. El PNUD, la ONUDI y el Banco Mundial proporcionaron información actualizada sobre proyectos relacionados con las espumas de poliuretano que se habían completado o estaban a punto de completarse en 16 países como parte de los PGEH, y en uno como parte de un PAK. De esos proyectos, 16 incluían a PYMES, 11 se habían completado, uno se había cerrado, y cinco seguían en curso.

13. En cuanto a la disponibilidad de alternativas de bajo PCA, la información actualizada no ha mostrado variaciones importantes con respecto a la información presentada en informes anteriores: Los hidrocarburos, el formiato de metilo, el metilal y la tecnología a base de agua siguen estando disponibles y son utilizados por muchas empresas de espumas de poliuretano, según su tamaño, características y aplicación. Los HFO están disponibles en un número cada vez mayor de países (por ejemplo, Brasil, Colombia, Costa Rica, Chile, Indonesia, Tailandia y Viet Nam). Sin embargo, otros países han informado que, a pesar de los avances sustanciales en las conversaciones y los arreglos logísticos con los proveedores, aún no se puede considerar que los HFO estén disponibles a escala comercial (por ejemplo, en Argentina y Túnez).

⁷ Diisocianato de difenilmetano

14. En cuanto a los precios, como se informó anteriormente, existen variaciones significativas entre las alternativas dentro de un mismo país, así como diferencias en los precios de alternativas idénticas entre países. Según la información actualizada, varios países han observado una disminución gradual de los precios del HFO-1233zd(E) (por ejemplo, Argentina y Tailandia), y algunos han informado de precios inferiores a USD 20,00/kg (por ejemplo, Brasil, China, Colombia, Indonesia, Tailandia y Viet Nam).

15. Algunos de los principales retos para la adopción de alternativas de bajo PCA por parte de las PYMES siguen estando relacionados con las grandes inversiones y los obstáculos de seguridad asociados al uso de hidrocarburos, especialmente la aplicación de espuma proyectada, y con el precio y la insuficiente disponibilidad comercial de los HFO en varios países.

16. En cuanto a las tecnologías de espuma proyectada que podrían ser adecuadas para las PYMES, el Banco Mundial informó que un proveedor de sistemas de China había desarrollado una tecnología de CO₂ supercrítico que daba respuesta a las inquietudes en materia de seguridad relacionadas con las alternativas inflamables, así como a las limitaciones de rendimiento de los sistemas de base acuosa. La Secretaría señala que esta tecnología ya se había probado con éxito en el marco de un proyecto del Fondo Multilateral ejecutado por el Gobierno del Japón en Colombia⁸. La demostración confirmó que el CO₂ supercrítico era un sustituto técnicamente viable del HCFC-141b en aplicaciones de espuma proyectada, ya que ofrecía un mejor rendimiento que la espuma convencional de CO₂ a base de agua. Sin embargo, también se observó que tenía una mayor conductividad térmica que el HCFC-141b, lo que podría requerir una espuma más densa y aumentar los costos de operación. Se identificó un obstáculo clave en los elevados costos de capital necesarios para modificar el equipo de proyección y los costos de operación de los polioles patentados. Cabe señalar que, en el caso del proveedor de sistemas chino, la empresa alquila las máquinas de espumado que se utilizan con sus formulaciones, lo que podría eliminar la carga del costo de capital para los usuarios de las espumas.

RECOMENDACIÓN

17. El Comité Ejecutivo podría estimar oportuno:

- a) Tomar nota del documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/96/60, incluido el informe actualizado sobre la cuestión de las alternativas en la fabricación de espumas de poliuretano, centrado en las pequeñas y medianas empresas, en particular para aplicaciones de espumas proyectadas y aislantes (decisión 94/58 c)); y
- b) Examinar la información que figura en el documento mencionado en el inciso a) al debatir la cuestión de las alternativas en el sector de fabricación de espumas de poliuretano.

⁸ El informe final está disponible en el documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/71/6/Add.1.