

## DOCUMENTO DE REFERENCIA

# Gestión del ciclo de vida de los refrigerantes: Maximizando los beneficios atmosféricos y económicos del Protocolo de Montreal

Octubre de 2023

*Preparado por el Yale Carbon Containment Lab para la 35ª Reunión de las Partes*

Autores: Charlie Mayhew ([charlie.mayhew@yale.edu](mailto:charlie.mayhew@yale.edu)), Tilden Chao ([tilden.chao@yale.edu](mailto:tilden.chao@yale.edu)),  
Anastasia O'Rourke



**RESUMEN:** Aprovechar todo el potencial del Protocolo de Montreal para proteger el clima y la capa de ozono exige tener en cuenta el ciclo de vida completo de las sustancias reguladas: desde su producción y uso hasta la reducción de fugas, la recuperación, la regeneración y la eliminación de manera ambientalmente racional. Este enfoque coordinado — conocido como gestión del ciclo de vida de los refrigerantes (GVR – o LRM en inglés) — puede generar importantes beneficios para el ozono, el clima y la equidad a un bajo coste. Este documento analiza las mejores prácticas de GVR y su impacto potencial como preparación para la 35ª Reunión de las Partes.

## Introducción

La Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal es un paso importante hacia la reducción de las emisiones mundiales de hidrofluorocarbonos (HFC). La plena aplicación de la eliminación progresiva de la producción y el consumo de HFC evitará un calentamiento atmosférico estimado en 0,5 grados centígrados de aquí a 2100.<sup>1</sup> Este calentamiento evitado se suma a los enormes beneficios medioambientales de la eliminación progresiva de las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO — o ODS en inglés) prevista en el Protocolo de Montreal.

Sin embargo, para aprovechar todo el potencial que tiene el Protocolo de Montreal para proteger la capa de ozono y el clima es necesario tener en cuenta el ciclo de vida completo de las sustancias controladas: desde la producción y el uso, hasta la reducción de fugas, la recuperación, la regeneración y la eliminación ambientalmente racional. La gestión integrada de los refrigerantes — conocida también como la "gestión del ciclo de vida de los refrigerantes" (GVR — o LRM en inglés) — puede contribuir al cumplimiento del Protocolo de Montreal y servir a los objetivos rectores del tratado: la protección del ozono estratosférico y la prevención del cambio climático global.<sup>2,3</sup>

La oportunidad para la GVR es grande. Las emisiones mundiales de HFC siguen creciendo rápidamente debido a la sustitución de las SAO y a la creciente adopción de tecnologías de aire acondicionado, bombas de calor y refrigeración. En la actualidad, la cantidad de SAO y HFC en los equipos en funcionamiento ("banco de refrigerantes instalado") asciende a 24.000 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>e) en todo el mundo. Se prevé que el banco instalado aumente a 61.000 millones de tCO<sub>2</sub>e en 2050 y a 91.000 millones de tCO<sub>2</sub>e — casi tres años de emisiones mundiales del sector energético — en 2100, incluso con el pleno cumplimiento de la Enmienda de Kigali y la eliminación progresiva de los hidrofluorocarbonos (HCFC) en curso.<sup>4</sup> Sin una gestión adecuada del ciclo de vida de los refrigerantes que se utilizan hoy y en el futuro, estos gases irán a parar inevitablemente a la atmósfera.

Aunque el término "gestión del ciclo de vida de los refrigerantes" es relativamente nuevo, muchos de sus pilares — como la formación de técnicos, la recuperación y regeneración de refrigerantes y la destrucción ambientalmente racional — resultan familiares a la comunidad del Protocolo de Montreal. A lo largo de los treinta años de historia del tratado, el Fondo Multilateral y los grupos de evaluación han abordado cada uno de estos temas de forma aislada. Ahora que el Protocolo entra en una fase nueva, con los países del Artículo 5 iniciando la eliminación progresiva de los HFC y acercándose a la eliminación total del consumo de HCFC,

---

<sup>1</sup> World Meteorological Organization (WMO). "Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project," 2018. <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/SAP-2018-Assessment-report.pdf>.

<sup>2</sup> Christina Theodoridi et al., "The 90 Billion Ton Opportunity" (EIA, NRDC, IGSD, 2022), <https://us.eia.org/wp-content/uploads/2022/10/Refrigerant-Lifecycle-FullReport-6Spreads-PRINT.pdf>.

<sup>3</sup> Initiative on Fluorocarbons Life Cycle Management, "Resource Book for Life Cycle Management of Fluorocarbons" (Climate and Clean Air Coalition: Japan Ministry of the Environment, 2022), <https://www.ccacoalition.org/resources/resource-book-life-cycle-management-fluorocarbons-good-practice-portfolio-policymakers>.

<sup>4</sup> Theodoridi et al., "The 90 Billion Ton Opportunity."

es el momento de elaborar y aplicar una estrategia unida y coherente de GVR del Protocolo de Montreal que pueda contribuir al cumplimiento del tratado. En una década crítica tanto para la capa de ozono como para el clima mundial, la GVR puede garantizar que el Protocolo de Montreal continúe su legado de salvar el planeta.

## ¿Cuál es el ciclo de vida habitual de los refrigerantes?

El ciclo de vida actual de los refrigerantes dista mucho de ser circular, ya que presenta varias deficiencias que aumentan las emisiones, desperdician recursos refrigerantes y dificultan el cumplimiento del Protocolo de Montreal. Hoy en día, la práctica habitual es la siguiente:

- **Los refrigerantes se producen** y se cargan en los nuevos equipos durante el proceso de fabricación.
- A lo largo de su vida útil, **los equipos pierden** refrigerante, lo que compromete su rendimiento, su eficiencia energética y su vida útil.
- **Los técnicos de mantenimiento recargan los equipos con fugas** con refrigerante virgen.
- Cuando un equipo llega al final de su vida útil, **el refrigerante restante suele liberarse** ("ventearse") a la atmósfera. Aunque el venteo es explícitamente ilegal en muchos países, su cumplimiento es difícil de controlar y hacer cumplir. A menudo, la recuperación del refrigerante también supone un coste neto para los técnicos, en parte porque existen mercados finales pequeños y poco desarrollados para los refrigerantes regeneradas.
- Se instalan equipos nuevos, **cargados con refrigerante virgen**.

## ¿Qué es la gestión del ciclo de vida de los refrigerantes?

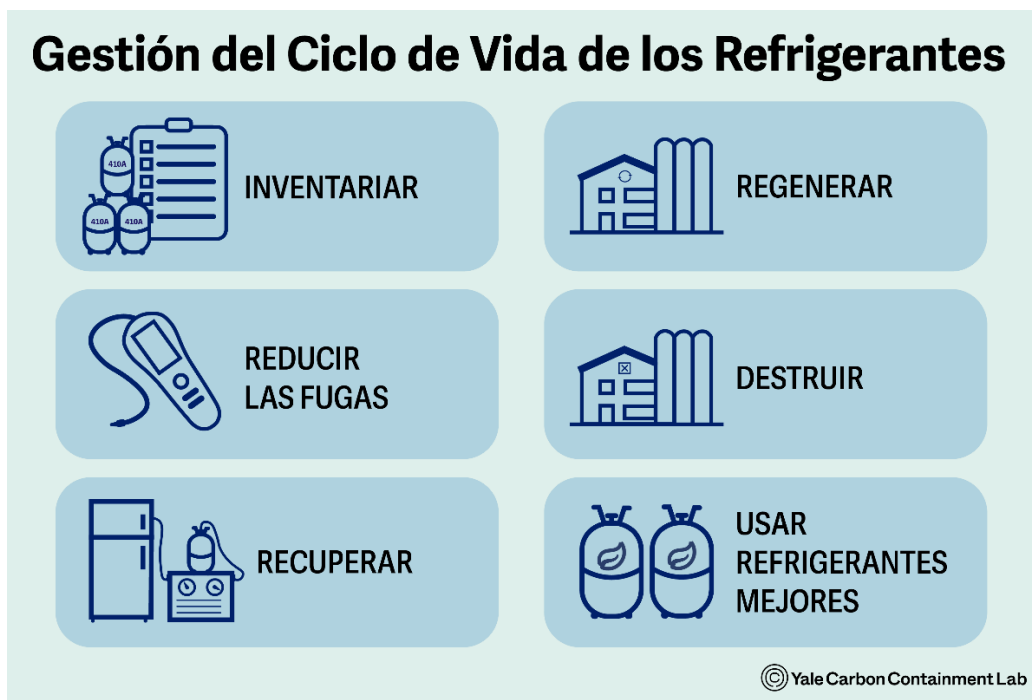


Figura 1: Acciones de gestión de refrigerantes durante el ciclo de vida. Caroline Benedetti, Yale Carbon Containment Lab.

Las mejores prácticas de gestión de refrigerantes pueden aplicarse en cada etapa del ciclo de vida con **tecnología existente y a bajo costo**. Las estrategias disponibles incluyen:

- Mantener **inventarios** precisos y completos de **bancos de refrigerantes** y estimaciones de emisiones.
- Aplicación de las mejores prácticas de instalación, mantenimiento y control para **reducir las fugas** durante la vida útil de los equipos de refrigeración.
- Garantizar la **recuperación de refrigerantes** al final de la vida útil de los equipos.
- **Reciclaje o regeneración de** refrigerantes usados para disminuir la demanda de producción de refrigerantes vírgenes y crear mercados finales para los gases recuperados.
- **Destruir el** refrigerante recuperado para el que hay poca o ninguna demanda con tecnología respetuosa con el medio ambiente.
- Transición a equipos que utilicen **refrigerantes con menor potencial de calentamiento global**. Estos equipos, además de tener un menor impacto en el clima por las fugas de refrigerante y la ventilación, también suelen ser más eficientes energéticamente.

## ¿Cuáles son las ventajas de la gestión del ciclo de vida de los refrigerantes?

### Mejor comprensión de los bancos y las emisiones

Los inventarios precisos apoyan la toma de decisiones en todos los aspectos de la GVR. La información sobre el tamaño del banco instalado y su mezcla de especies de refrigerantes sirve de base para la aplicación de la recuperación, la regeneración y la destrucción. A su vez, las previsiones de emisiones ayudan a orientar la priorización de sectores y regiones con el mayor impacto potencial. Los inventarios de alta calidad también ayudan a establecer estimaciones de referencia de las emisiones, que son un requisito previo para muchas formas de financiación climática.

### Conservación de energía y recursos mediante la reducción de fugas

Reducir las fugas de refrigerante de los equipos en funcionamiento puede generar grandes beneficios climáticos y ahorros al mismo tiempo. Las medidas de reducción de fugas reducen las emisiones y conservan el refrigerante al tiempo que aumentan la eficiencia operativa de los equipos (lo que se traduce en un importante ahorro energético). La reducción de fugas se vuelve más importante para los resultados de los propietarios de equipos cuando el precio del refrigerante aumenta durante las reducciones progresivas.

### Mejores índices de recuperación de refrigerantes

La recuperación de refrigerantes es el paso previo a la regeneración y destrucción. En la actualidad, la recuperación de refrigerantes se produce de forma irregular cuando los técnicos reparan o revisan los equipos de refrigeración, y rara vez al final de su vida útil. Los bajos índices de recuperación de refrigerantes se deben a que hay pocos mercados finales para el refrigerante recuperado y poca capacidad para controlar y hacer cumplir las prohibiciones de venteo de refrigerantes. La GVR se centra en crear la infraestructura y los incentivos necesarios para recuperar refrigerantes a gran escala, lo que incluye crear mercados finales para los gases

recuperados y equipar a los técnicos con las herramientas y capacidades necesarias para realizar correctamente el mantenimiento y el desmantelamiento de los equipos.

### **Economía circular a través del reciclaje y la regeneración**

El reciclado y la regeneración de refrigerantes son procesos importantes que conservan la cantidad de refrigerante utilizado para el mantenimiento de los equipos en funcionamiento. La regeneración de refrigerantes — el proceso de reacondicionamiento químico de gases usados para alcanzar un nivel de pureza virgen — puede desempeñar un papel especialmente importante a la hora de garantizar una eliminación ordenada de las SAO y los HFC, aumentando el suministro de refrigerantes que, de otro modo, serían escasos. Sin suficiente gas regenerado, los propietarios de los equipos pueden sufrir escasez de suministro, precios elevados y volatilidad de los precios de los fluorocarbonos. Con unos niveles adecuados de reciclado y regeneración, los responsables políticos también pueden adelantar los calendarios de retirada progresiva sin temor a provocar picos de precios significativos o escasez de suministro.

### **Eliminación segura y ambientalmente racional para garantizar una reducción permanente de las emisiones**

La destrucción ambientalmente racional de las SAO y los HFC es la medida final fundamental para evitar las emisiones de refrigerantes. La destrucción mediante tecnologías aprobadas por el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE — o inglés, TEAP) descompone los fluorocarbonos en sus componentes químicos al tiempo que gestiona de forma segura los subproductos tóxicos, evitando de forma permanente daños a la capa de ozono y al medio ambiente.<sup>5</sup> Los países deben perseguir la destrucción allí donde los mercados finales de refrigerantes recuperados y regenerados sean pequeños o inexistentes. Los proyectos del mercado del carbono han conseguido monetizar la destrucción de refrigerantes recuperados y las existencias de SAO, incentivando la recuperación de refrigerantes y la financiación de la reducción.<sup>6</sup>

### **Aumento de la formación para facilitar una mayor transferencia de tecnología**

La formación y educación adecuadas de los técnicos de mantenimiento es la piedra angular de la implantación de la GVR. La formación es importante no sólo para minimizar las emisiones del ciclo de vida de los equipos, sino también para facilitar la adopción de nuevos refrigerantes con menor potencial de calentamiento global, que a menudo funcionan a temperaturas y presiones diferentes. La capacidad de dar servicio a la nueva generación de equipos más respetuosos con el clima crea puestos de trabajo y es un paso fundamental para permitir la retirada progresiva de los HFC.

## **Conclusión**

La aplicación a gran escala de la GVR contribuye al cumplimiento del Protocolo de Montreal. La

---

<sup>5</sup> Walter-Terrinoni, Helen, y Helen Tope. "Decisión XXIX/4 Informe del grupo de trabajo del GETE sobre tecnologías de destrucción de sustancias controladas". Informe del GETE del PNUMA. Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica, abril de 2018. <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-04/TEAP-DecXXIX4-TF-Report-April2018.pdf>.

<sup>6</sup> "Fact Sheet on Existing Fluorocarbon Credit Methodologies" (Yale Carbon Containment Lab, 24 de mayo de 2023), <https://carboncontainmentlab.yale.edu/publications/refrigerant-credits-fact-sheet>.

reducción de fugas, la recuperación y la regeneración reducen la necesidad de producir refrigerantes vírgenes, garantizando que las Partes cumplan sus requisitos de reducción progresiva a un coste razonable. Un suministro adecuado de refrigerante regenerado también puede permitir a los países aumentar su ambición acelerando sus calendarios de eliminación. Además, la destrucción verificada y ambientalmente racional puede desbloquear la financiación climática al reducir permanentemente las emisiones del banco instalado, financiación que puede utilizarse para financiar todo el ecosistema de gestión de refrigerantes y acelerar la transición a tecnologías ambientalmente racionales y que toman en cuenta el clima. Por encima de todo, la GVR fomenta las funciones básicas del Protocolo de Montreal: proteger la capa de ozono y prevenir el cambio climático.

Para garantizar que las Partes incorporen las mejores prácticas de la GVR en las etapas finales de la eliminación de los HCFC y en toda la eliminación de los HFC, la comunidad del Protocolo de Montreal debería hacer del debate y la planificación de la GVR una prioridad en la 35ª Reunión de las Partes. Acogemos con satisfacción la inclusión de la GVR como punto 16 del orden del día provisional de la Reunión y esperamos apoyar estos esfuerzos.

## Acerca del Yale Carbon Containment Lab

El [Laboratorio de Contención del Carbono de Yale](https://carboncontainmentlab.yale.edu) (en inglés —Yale Carbon Containment Lab) es una organización sin ánimo de lucro financiada por donaciones en la Escuela de Medio Ambiente de Yale, en New Haven, Connecticut (EE.UU.). La misión del CC Lab es desarrollar y aplicar soluciones novedosas y olvidadas al cambio climático, abarcando tres vías de mitigación: biológica, geológica y antropogénica. En su programa antropogénico, el CC Lab se centra en los gases refrigerantes y el desarrollo de mecanismos de financiación para ampliar la recuperación y reducción de refrigerantes. Más información sobre la línea de trabajo de refrigerantes del CC Lab: <https://carboncontainmentlab.yale.edu/projects/refrigerants>

## Recursos

- Iniciativa sobre la gestión del ciclo de vida de los fluorocarbonos. "Libro de recursos para la gestión del ciclo de vida de los fluorocarbonos". Coalición Clima y Aire Limpio: Ministerio de Medio Ambiente de Japón, 2022. <https://www.ccacoalition.org/resources/resource-book-life-cycle-management-fluorocarbons-good-practice-portfolio-policymakers>.
- Theodoridi, Christina, Alex Hillbrand, Christina Starr, Avipsa Mahapatra y Kristen Taddonio. "La oportunidad de los 90.000 millones de toneladas". EIA, NRDC, IGSD, 2022. <https://us.eia.org/wp-content/uploads/2022/10/Refrigerant-Lifecycle-FullReport-6Spreads-PRINT.pdf>.
- Walter-Terrinoni, Helen, y Helen Tope. "Decisión XXIX/4 Informe del grupo de trabajo del GETE sobre tecnologías de destrucción de sustancias controladas". Informe del GETE del PNUMA. Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica, abril de 2018. <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-04/TEAP-DecXXIX4-TF-Report-April2018.pdf>.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). "Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project", 2018. <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/SAP-2018-Assessment->

report.pdf.  
"Hoja informativa sobre metodologías existentes de créditos de fluorocarbonos". Yale Carbon  
Containment Lab, 24 de mayo de 2023.  
<https://carboncontainmentlab.yale.edu/publications/refrigerant-credits-fact-sheet>.