

La industria opera ahora con más responsabilidad

# Respuestas a la regulación de refrigerantes

Estas cuatro "R" para refrigeración y aire acondicionado identifican las formas en las que los usuarios de refrigerantes, junto con los fabricantes y sus equipos, pueden afectar las alternativas futuras. Desde las últimas evaluaciones científicas hasta impuestos especiales y políticas para la industria, el futuro de los refrigerantes está sembrado de desafíos.

por James M. Calm, PE

Lo que llamamos refrigerantes "nuevos" o "alternativos" ya no es nuevo en realidad. El refrigerante 123 (R-123, comercializado por primera vez en 1989) reemplazó el R-11 y ha registrado más de 100.000 años-enfriador de servicio afortunado. El R-134a (introducido el año siguiente) reemplazó el R-12 y el R-500 en diversas aplicaciones, incluyendo electrodomésticos como refrigeradores, acondicionadores de aire móviles, parte de la refrigeración comercial y enfriadores centrífugos y de tornillo. El uso del R-22 (producido desde 1936) aumentó en refrigeración para temperatura media y baja, y sigue siendo el principal refrigerante para equipos unitarios. El cambio del R-22 al R-410a en equipos nuevos está en proceso, y se espera su conclusión en cinco o seis años. El R-404A y el R-507A (ambos introducidos en 1993) reemplazarán al R-502 en la refrigeración comercial, especialmente para uso en bajas temperaturas (como alimentos congelados). Otros reemplazos y fluidos de servicios se resumen en la tabla 1. Hay más de 100 refrigerantes adicionales en uso —en su mayor parte mezclas—, pero su cuota de mercado agregada es muy pequeña. La tabla se limita a los refrigerantes que han

obtenido designaciones estándares.

Las "alternativas" se han convertido en la norma para equipos nuevos en muchas aplicaciones y en conversiones para algunos equipos antiguos. La aparente facilidad de la transición oculta las enormes inversiones hechas por los fabricantes de químicos y equipos para identificar sustitutos, desarrollar datos de aplicación y seguridad para ellos, rediseñar productos y prácticas de servicio, desarrollar y calificar materiales de fabricación, y ensayar y calificar nuevos equipos.

## Tendencias en la industria

La industria merece un reconocimiento por el progreso hecho hasta ahora y por haber mejorado tanto el desempeño como la seguridad del proceso. Los fabricantes de equipos, al igual que los técnicos de instalación y servicio, merecen una mención especial por reducir las emisiones a niveles en los que la discontinuación parece ser innecesaria para algunos refrigerantes retirados si no se presentaran otras aplicaciones que supusieran emisiones.

Aunque los refrigerantes clorofluorocarbonados (CFC) almacenados y recuperados siguen circulando para servicio en sistemas antiguos, las mejores razones para el reemplazo de equipos que aún usan estos compuestos son las sustanciales mejoras en la eficiencia —con los equipos de última generación— y los ahorros en costos que resultan de ella.

Los hidrocarbonados, principalmente el isobutano, predominan ahora en los refrigeradores de algunos países. De manera similar, el uso de amoníaco y de hidrocarbonados como el propano y el propileno está aumentando más notablemente en algunos países europeos. Aunque un incremento en el uso del dióxido de carbono es interesante, por ejemplo en la primera



# Refrigeración comercial e industrial

etapa de sistemas de refrigeración en cascada, sus beneficios son a menudo exagerados para aplicaciones más amplias.

Aunque aún en proceso, la transición se ha realizado con tanta facilidad que los problemas regulatorios y normativos que enfrentan muchos de los sustitutos han pasado desapercibidos para la mayoría de los usuarios de refrigerantes. El mantra de la protección de la capa de ozono era cambiarse al uso de las alternativas de hidroclorofluorocarbonados (HCFC) o hidrofluorocarbonados (HFC) –en forma provisional los primeros.

Varias aplicaciones esenciales aún se basan en los HCFC, principalmente el R-22 para más del 90% de equipos de aire acondicionado unitarios y bombas de calor, y el R-123 para más de dos tercios de nuevos enfriadores centrífugos.

Tabla 1. Refrigerantes antiguos y “alternativos”.

| CFC o HCFC   | Equipos existentes (pueden requerir conversión)  | Equipos nuevos                        |
|--------------|--|---------------------------------------|
| R-11         | R-123  | R-123 R-245fa                         |
| R-12, R-500  | R-134a R-401A R-401B R-401C<br>R-405A R-406A R-407D R-409B<br>R-412A R-413A R-414A R-414B<br>R-415A R-416A R-418A R-420A | R-134a R-227ea<br>R-245fa HC          |
| R-22         | R-407C R-411A R-411C R-417A<br>R-419A  | R-407C R-407E<br>R-410A R-410B<br>??? |
| R-113        | Ninguno  | Cualquier reemplazo                   |
| R-114, R-400 | R-124 R-236fa E245cb1 R-401A   | R-236fa E245cb1                       |
| R-502        | R-402A R-402B R-403A R-403B<br>R-404A R-407A R-407B R-408A<br>R-409A R-411B R-411C R-507A                                | R-404A R-407A<br>R-507A R-509A<br>HC  |
| R-13B1       | R-410A R-410B  | R-410A R-410B                         |
| R-13, R-503  | R-23 R-508B  | R-23 R-170<br>R-508A R-508B           |

Otros refrigerantes para propósitos específicos incluyen:

- R-717 (amoníaco) en procesamiento de alimentos y bebidas, refrigeración industrial, absorción (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O)
- R-718 (agua) en ciclos de absorción (H<sub>2</sub>O/LiBr), recompresión industrial de vapor y compresión de vapor al vacío.
- R-729 (aire) en usos especiales de ciclos Brayton.
- R-744 (dióxido de carbono) en sistemas de cascada de primera etapa especialmente con amoníaco, refrigeración comercial y transporte refrigerado o, acondicionadores de aire móviles y calentadores de agua con bombas de calor.
- R-704 (helio) y R-7131 (xenón) en ciclos Stirling en refrigeradores, propósitos especiales y refrigeración termoacústica.
- Hidrocarbonados (HC) en diversos usos, principalmente en equipos con cargas muy pequeñas, como refrigeradores y congeladores de neveras (nótese que el R-170 anterior es etano).
- Fluidos criogénicos (como el helio y el argón) en refrigeración a temperatura ultra baja.

Los refrigerantes subrayados con rojo son los que el autor cree que serán los sobrevivientes a largo plazo cuando se descontinúen los demás.

## Descontinuación a la vista

La descontinuación de los HCFC en equipos nuevos está programada para el 2010 y el 2020, con licencias de producción adicionales para soportar necesidades de servicio. Para el R-123, la producción para servicio se permite hasta el 2030 en países desarrollados y hasta el 2040, en países en desarrollo. Ni el protocolo de Montreal ni las regulaciones en los EE.UU. y la mayoría de los demás países, restringe un mayor uso de los HCFC existentes, instalados, almacenados o recuperados para servicio futuro, de modo que debe haber más que suficiente para las necesidades de servicio previstas.

Algunos países y ambientalistas están reclamando ahora que se descontinúen los HCFC para mitigar el calentamiento global. Los reclamos más extremos prohíben todos los fluoroquímicos –mucho más que los refrigerantes, neumatógenos, disolventes, propulsores y extinguidores– hasta eliminar el uso en produc-

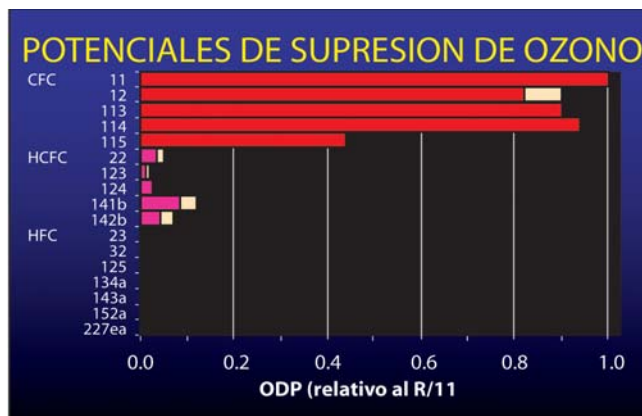


Figura 1. Potenciales de supresión de ozono (PSO, en inglés) de los refrigerantes de uso común CFC, HCFC y HFC (basados en WMO, “Evaluación científica de eliminación de la capa de ozono: 2002”, marzo, 2003).

tos como tejidos sintéticos (como el Gore-Tex) y recubrimientos para utensilios de cocina (como el Teflon).

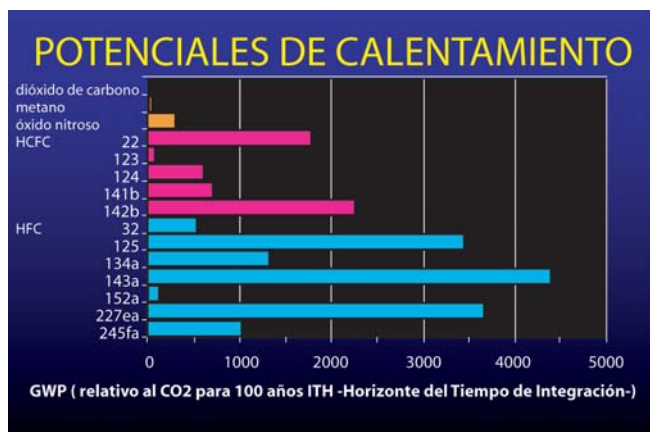


Figura 2. Potenciales de calentamiento global (PCG) de los refrigerantes de uso común HCFC y HFC (basados en IPCC, "Cambio climático 2001 – La base científica", 2001, y WMO, "Evaluación científica de eliminación de la capa de ozono: 2002", marzo, 2003).

Las presiones que enfrentan los fluorocarbonos, y específicamente los refrigerantes HFC, se ponen en evidencia en medidas de control establecidas en varios países europeos. Incluyen rotulación especial, sobretasas por potenciales de calentamiento global (PCG), discontinuación programada (desde 2003 inclusive para la refrigeración doméstica en Suiza y el 2006 para la mayoría de usos en Dinamarca), y prohibiciones absolutas para algunas aplicaciones. La Comisión Europea (CE) ha aprobado un proyecto de regulación a la comercialización, uso y almacenamiento de los HFC. Entre otras medidas, la propuesta exige inspecciones periódicas en busca de fugas por parte de profesionales calificados, anuales para sistemas pequeños y más frecuentes para equipos grandes. También demanda la

descontinuación eventual del R-134a en sistemas móviles, como los acondicionadores de aire para autos.

La impresionante mayoría de refrigerantes en uso y todos los refrigerantes fluorocarbonos que actualmente se utilizan, están en sistemas cerrados cuya operación no requiere la liberación de refrigerante. Los refrigerantes en sistemas no eliminan el ozono de la estratosfera. Tampoco actúan como gases de invernadero, aunque sí lo hacen las emisiones más significativas de dióxido de carbono y gases de invernadero relacionadas con el uso de energía. Sus costos y necesidades de servicio son menores y su eficiencia y capacidad es superior en sistemas sin escapes.

## El papel del usuario

No obstante, existen evidencias científicas de que las concentraciones atmosféricas de algunas alternativas están aumentando a mayor velocidad de lo que explican los índices de emisión declarados y alcanzables. Ello sugiere que los usuarios pueden influir en la aceptabilidad futura y el destino final de los refrigerantes alternativos a través del uso responsable y mediante:

- La selección de refrigerantes con muy bajos PSO y PCG: estos refrigerantes por lo general tienen tiempos de vida en la atmósfera muy cortos, lo cual reduce por consiguiente la acumulación en la atmósfera y permite protegerse de preocupaciones adicionales (véase las figuras 1 y 2).
- La minimización de las emisiones en la fabricación, envasado y reenvasado, transporte, almacenamiento, instalación (carga), servicio y retiro de equipos (recuperación): las sustanciales reducciones de pérdidas de refrigerantes (véase la figura 3) –de un índice anualizado de hasta un tercio de la carga por año hace tres décadas a menos del 0,5% por año en los mejores equipos hoy– ilustran dicho potencial. Esto se traduce en la recuperación de aproximadamente el 90% de

## PERDIDAS DE REFRIGERANTE EN ENFRIADORES

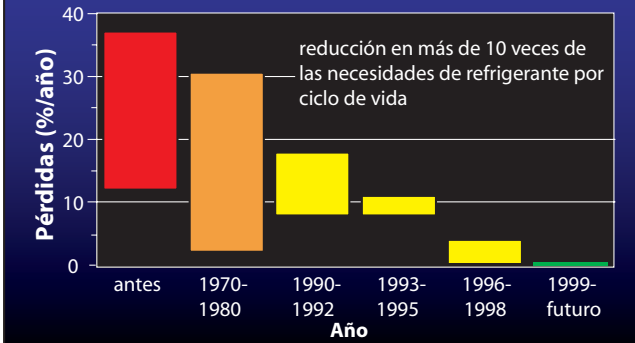


Figura 3. Progreso en la reducción de emisiones de refrigerante por escapes, expulsión por purga y otras pérdidas en operación y en servicio. © 1999. James M. Calm.

la carga inicial en retiros de equipo en lugar de una carga nueva completa cada tres años. Los usos anteriores de refrigerantes para propulsar líneas de condensado y limpiar serpentines no sólo son inaceptables, sino también ilegales en los EE.UU. y en algunos países más. Es posible hacer mayores reducciones con mejoras futuras, mayor cuidado en el manejo y servicio, y respuesta inmediata a escapes conocidos. Es posible efectuar reducciones adicionales con cambios estratégicos en frecuencia de servicio para procedimientos internos y de separación. Por ejemplo, la programación de cambios de lubricantes con base en análisis periódicos de muestras en laboratorio evita cambios excesivos, cada uno de los cuales libera refrigerante.

- El apoyo a la determinación científica de las medidas de control: la oposición a medidas justificadas afecta la confianza en la industria como competidora responsable y en consecuencia debilita la influencia para preservar alternativas sensatas. Además, las tergiversaciones regulatorias para sacar una ventaja comercial pasajera no hacen más que fracasar, por razones similares y al confundir a los formuladores de normas y a los clientes.

El último punto merece explicarse. La industria de refrigeración y aire acondicionado suele defender el uso de análisis que incluyen los impactos de calentamiento global de las emisiones de refrigerante (a las que en ocasiones se llama "de efecto directo") y de otras emisiones de gases de invernadero (a las que a veces se llama "de efecto indirecto", aunque dicho término tienen otros significados en la ciencia atmosférica). Tales análisis incluyen el Impacto Total de Calentamiento Equivalente (TEWI, por sus siglas en inglés; aquí se usarán las siglas ITCE), Impacto en el Calentamiento durante el Ciclo de Vida (se nombrará con las siglas ICCV), Desempeño Climático durante el Ciclo de Vida (DCCV), Impacto Neto en el Calentamiento (INC), y otras variantes más.

Estos análisis son herramientas útiles, pero también son susceptibles de ser mal utilizadas mediante la distorsión involuntaria o deliberada de presupuestos de operación subyacentes, limitaciones de los sistemas y datos. Las emisiones de HFC son pequeñas en la actualidad, 1% a 2% de emisiones controladas de gases de invernadero medidas como equivalentes de bióxido de carbono, pero esta fracción está aumentando y existe preocupación por la multiplicación de los niveles futuros.

### El R-123

Dos de cuatro fabricantes de enfriadores centrífugos en EE.UU. emplean el R-123. Como tal, existe una ventaja comercial para algunos en el apoyo o la oposición a la reconsideración actual de su discontinuación. Sin embargo, este refrigerante ofrece una oportunidad de basar en evidencias científicas las políticas normalizadoras, puesto que un aplazamiento de su discontinuación para el uso en enfriadores tendría un impacto imperceptible en la capa de ozono y evitaría un incremento de 9 a 20% en las emisiones de gases de invernadero motivadas por el uso de energía.

El R-123 es una de las pocas sustancias controladas para las cuales hay una lógica ambiental clara para retención como refrigerantes de enfriadores, pero esta diferenciación se está distorsionando por la comercialización y la presión negativas. Una campaña que logre preservar este único HCFC sentaría un precedente clave para las decisiones futuras sobre estos compuestos, principalmente para reconsiderarlos científicamente en bases de compuesto por compuesto y de aplicación por aplicación. La restricción alternativa de toda la clase de químicos corre el riesgo de eliminar alternativas sensatas junto con las sustancias dañinas.

El caso científico para un aplazamiento del R-123 está documentado en la literatura técnica, incluyendo artículos en algunas de las más prestigiosas publicaciones científicas y de ingeniería. Más aún, la conclusión final de la Organización Mundial Meteorológica (WMO, por sus siglas en inglés) en 1998 "Evaluación científica de la supresión de ozono", parte de un esfuerzo internacional preparado de conformidad con el proto-

## PROGRESION DE REFRIGERANTES

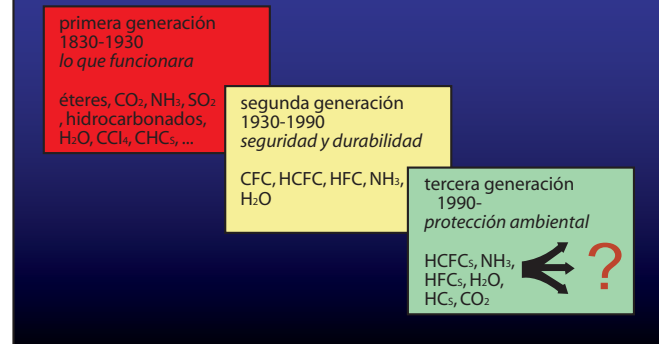


Figura 4. Generaciones de refrigerantes y características que los definen.


colo de Montreal, declara que “los problemas de la supresión de ozono y el cambio climático están interrelacionados; por consiguiente también lo están los protocolos de Kioto y Montreal [...] las decisiones que tienen que ver con el control de los HFC pueden afectar las decisiones concernientes a la capacidad de discontinuar las sustancias supresoras de ozono”.

En 1999, el “Encuentro de expertos sobre opciones para limitar emisiones de HFC y PFC”, del Panel Intergubernamental Conjunto sobre Cambio Climático – Panel de Evaluación Técnica y Económica (IPCC-TEAP, por sus siglas en inglés), señalaba que “la discontinuación del HCFC-123 aumentará [...] el calentamiento global en 14 a 20% [...] comparado con un aumento de menos de 0,001% en la carga pico de bromurocloruro”. Aunque la conclusión fue controvertida, el grupo de trabajo coincidió en que el HCFC-123 merece ser examinado para enfriadores debido al impacto insignificante que causa en la supresión de la capa de ozono y a sus notables ventajas en la reducción del calentamiento global.

La evaluación del 2002 “Informe del Comité de Opciones Técnicas en Refrigeración, Aire Acondicionado y Bombas de Calor” (RTOC, por sus siglas en inglés), preparado bajo los auspicios del Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP, por sus siglas en inglés), declaró que “el HCFC-123 tiene un impacto total favorable en el medio ambiente, el cual puede atribuirse a cinco factores: 1) un bajo PSO; 2) un PCG muy bajo; 3) muy corto tiempo de vida en la atmósfera; 4) la emisiones extremadamente bajas de los actuales diseños para enfriadores con HCFC-123, y 5) la mayor



eficiencia de todas las alternativas en uso”. Esta evaluación internacional cita estudios que muestran que el “uso continuado del HCFC-123 en enfriadores tendría un impacto imperceptible en el ozono estratosférico a la vez que ofrecería ventajas significativas en eficiencia, rebajando por consiguiente las emisiones de gases de invernadero por el uso de energía que implica”.

La transición hacia y el resultado para los refrigerantes de la tercera generación, como se ilustró en la figura 4, está en proceso. Las decisiones venideras determinarán la viabilidad a largo plazo de las alternativas actuales. Los fabricantes y usuarios de refrigerantes y equipos pueden influir en su futuro seleccionando refrigerantes con bajos PSO y PCG; esto minimizará las emisiones, incrementará la eficiencia del sistema y soportará la determinación científica de las medidas de control. Ese futuro depende de la gestión responsable de las opciones que quedan, tanto las que están en uso como las que están siendo defendidas. 

---

*\*James Calm es un consultor de ingeniería reconocido internacionalmente, establecido en Great Falls, VA. Se especializa en sistemas de calefacción, aire acondicionado y refrigeración; mucho de su trabajo tiene que ver con la aplicación y seguridad de refrigerantes alternativos. Ha publicado varios artículos técnicos e informes sobre los impactos ambientales de emisiones de refrigerante en reconocidas publicaciones científicas y de ingeniería. Los lectores pueden descargar algunos de sus artículos de su sitio en internet en [www.JamesMCalm.com](http://www.JamesMCalm.com). Preparó este artículo para Engineered Systems en calidad de comentarista invitado.*

J. M. Calm, “Respuestas a la regulación de refrigerantes,” AC/R-Latinoamérica, 8(2):52-56, March-April 2005; originally published as an invited guest commentary, “Responsible Responses to Refrigerant Regulation,” Engineered Systems, 20(10):66-72, October 2003

© 2003, James M. Calm, Engineering Consultant