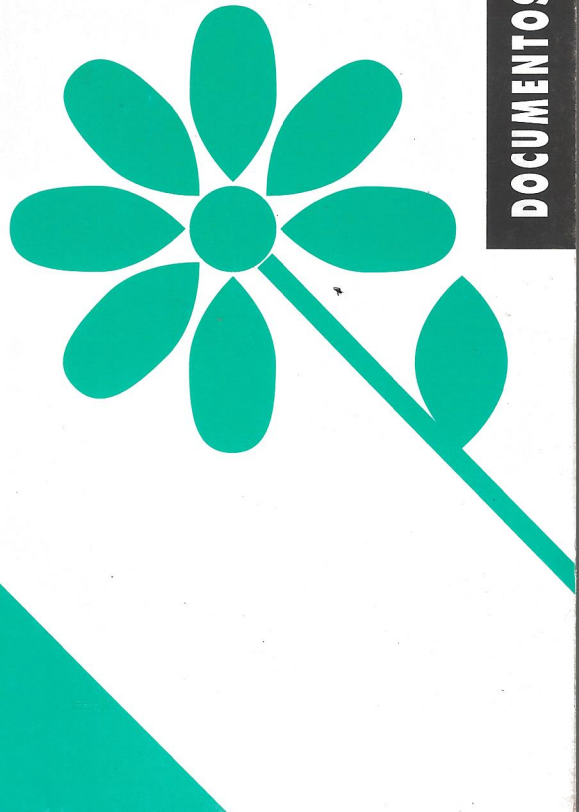
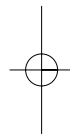
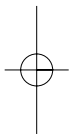


5
**INDUSTRIA
FRIGORÍFICA
Y MEDIO
AMBIENTE**

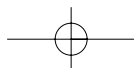




DOCUMENTOS
COTEC SOBRE
NECESIDADES
TECNOLÓGICAS



Primera edición.
Enero 1995



ÍNDICE

1. Presentación	5
2. Panorama de la Industria Frigorífica en España	9
3. Causas de la transformación exigida a la Industria Frigorífica	13
Consideraciones medioambientales	13
Legislación	23
- Normativa internacional	23
- Problemas inherentes a la legislación española	26
4. Amenazas Tecnológicas en la Industria Frigorífica	31
Recuperación y reconversión	31
Nuevas Instalaciones	39
Amenazas en el sector alimentario	41
- Producción y almacenamiento	41
- Distribución minorista	43
- Transporte	46
- Refrigeración doméstica	47
Amenazas en el sector de acondicionamiento de aire ...	50
- Grandes instalaciones	50
- Equipos unitarios	52
- Instalaciones en vehículos automóviles	55
Amenazas en el sector sanitario	57
Amenazas en otros sectores industriales	58

5 Actuaciones necesarias para paliar los efectos de las restricciones impuestas sobre los fluidos frigorígenos halogenados	61
Información y Normativa	63
Capacitación	67
Acciones de I+D	70
6. Capacidad de I+D en España	79
7. Glosario de Acrónimos	83
Bibliografía	85
ANEXOS	87

1 PRESENTACIÓN

La Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica organiza regularmente Sesiones de Identificación de Necesidades Tecnológicas, en línea con su objetivo de contribuir al desarrollo tecnológico del sistema productivo español.

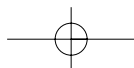
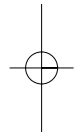
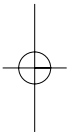
Estas sesiones tienen como finalidad concreta conocer las amenazas y las oportunidades de índole tecnológico con las que se enfrenta una actividad empresarial determinada, así como las vías de investigación y desarrollo que permitirían afrontarlas.

En ellas, la Fundación COTEC reúne a un reducido número de expertos empresariales e investigadores de centros públicos o privados especialmente cualificados, con representantes de la Administración y de asociaciones sectoriales, para que analicen la situación tecnológica del sector e identifiquen sus necesidades tecnológicas más perentorias para hacer frente a las exigencias del mercado, tanto las actuales como las previsibles en el horizonte de un futuro próximo.

En esta ocasión, la Fundación COTEC ofrece el resultado de la Sesión dedicada a la Industria Frigorífica y el Medio Ambiente, que tuvo lugar en Madrid el pasado día 8 de Noviembre de 1994 en la sede de COTEC.

La preparación de la sesión ha corrido a cargo de D. José Miguel Díaz, investigador del INSTITUTO DEL FRIO, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, que preparó y coordinó el material de esta publicación.

La Fundación COTEC quiere dejar constancia de su agradecimiento a D. José Miguel Díaz y a los demás expertos participantes en la Sesión, sin cuyas numerosas aportaciones este Documento no hubiera podido tener su actual enfoque.

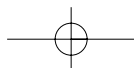
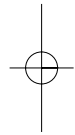
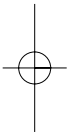


Participantes en la sesión COTEC sobre la Industria Frigorífica y el Medio Ambiente

- D. José Luis Corral
SABROE DE ESPAÑA, S.A.
- D. Vicente García Alcalde
CENTRO NACIONAL DE FORMACIÓN OCUPACIONAL
INEM
- D. Valentín Mari-Pino
CENTRO NACIONAL DE FORMACIÓN OCUPACIONAL
INEM
- D. Luis González Menéndez
ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE
AUTOMÓVILES Y CAMIONES (ANFAC)
- D. Luis Carlos Mas García
Mº DE INDUSTRIA Y ENERGÍA
- D. Angel Rascón
Mº DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES
Y MEDIO AMBIENTE
- D. Manuel Romero
DANFOSS, S.A.
- D. Werner Stenzig
SOLVAY ESPAÑA, S.A
- D. Isidro Varela Leandro
CONFEDERACIÓN NACIONAL DE INSTALADORES Y
MANTENEDORES DE CALEFACCIÓN, CLIMATIZACIÓN,
AGUA CALIENTE SANITARIA, FONTANERÍA, PROTECCIÓN
CONTRA INCENDIOS, GAS, ENERGÍA SOLAR Y AFINES
(CNI)
- D. Rafael Vázquez Martí
ASOCIACIÓN NACIONAL DE MANTENEDORES DE
INSTALACIONES (AMICYF)
- D. Alberto Viti Corsi
ASOCIACIÓN TÉCNICA ESPAÑOLA DE CLIMATIZACIÓN Y
REFRIGERACIÓN (ATECYR)

Coordinador:

- D. José Miguel Díaz
INSTITUTO DEL FRIO, CONSEJO SUPERIOR DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



2

PANORAMA DE LA INDUSTRIA FRIGORIFICA EN ESPAÑA

Hablar de la importancia de la industria frigorífica a mediados de los años noventa parece innecesario. Hasta el momento actual ninguna otra tecnología ha alcanzado igual grado de penetración en la sociedad desarrollada, ni se ha hecho tan imprescindible –de forma desapercibida– para nuestra subsistencia cotidiana. En España la industria frigorífica nació oficialmente con el *Plan de Red Frigorífica Nacional* creado en 1948. Hasta aquel año el frío era utilizado casi exclusivamente en cámaras de conservación de alimentos (cuyos volúmenes totalizaban 400.000 m³), en fábricas de hielo y en algunas escasas aplicaciones industriales (químicas, fundamentalmente).

A lo largo del casi medio siglo transcurrido desde entonces, las aplicaciones del frío han alcanzado casi todas las ramas de la actividad industrial y además se ha implantado en la vida cotidiana tanto laboral como doméstica (acondicionamiento de aire y frigoríficos domésticos). Pero la aplicación original a la conservación de productos perecederos –concretamente alimentos– sigue siendo la más importante, al menos en España. *El Censo de la Industria Frigorífica Nacional /1/* elaborado por la Dirección General de Industria del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo da, en su última edición actualizada al 31.12.90, un total de 13.239.283 m³ de cámaras frigoríficas (contabilizadas todas aquellas de volumen superior a

20 m³) más una producción de hielo equivalente a 2.660.000 toneladas/año.

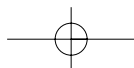
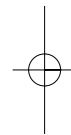
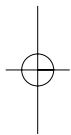
A 31.12.93 se estima que la capacidad de almacenamiento alcanzó casi los 16 millones de m³, lo que representa un "índice de frigorización" de 0,4 m³/habitante, uno de los más altos de la Unión Europea.

El sector alimentario no se limita a las cámaras de conservación y las fábricas de hielo; además existen lo que el Censo llama instalaciones anexas a industrias, y que son instalaciones frigoríficas complementarias de otras principales que precisan de la técnica del frío para la obtención de sus productos. También existen los medios de transporte en estado refrigerado o congelado, las instalaciones de distribución minorista y los refrigeradores y congeladores de los establecimientos de restauración, de las instituciones y domésticos.

Traducido a magnitudes energéticas, el consumo eléctrico potencial de las instalaciones censadas al 31.12.90 asciende a unos 2.200 GWh/año. Si se hace la estimación a 31.12.93, incluyendo la distribución alimentaria, la cifra alcanza unos 3.000 GWh/año, es decir aproximadamente el 2,2% del consumo eléctrico neto nacional en el año 1993. En términos monetarios, el volumen de venta de la industria alimentaria sobrepasó, en el año 1992, los 7 billones de ptas., lo que representa casi el 12% del PIB correspondiente a dicho año.

Con ser muy importante, el sector agroalimentario no es el único que utiliza las bajas temperaturas. La industria química (especialmente la petroquímica), la farmacéutica, las obras públicas, la industria metalúrgica y mecánica, el acondicionamiento de aire tanto en sus aplicaciones de confort como de proceso de producción, incluso algunos deportes, todas son actividades que implican frío obtenido artificialmente. Pese a la indudable importancia que todas ellas tienen en nuestra economía, no existen datos agregados que permitan cuantificar, en términos energéticos o monetarios, su participación en ésta, y ello a pesar de ser preceptivo para toda instalación de más de 10kW de potencia de arrastre de compresores cumplimentar un impreso de *Alta de la Instalación* y mantener un *Libro-Regis-*

tro de la misma, teniéndose así datos identificativos suficientes para confeccionar un completísimo censo. La información sobre las instalaciones existe y está en poder de las autoridades, pero se halla muy dispersa geográficamente y administrativamente (Ministerio de Industria y Energía, antiguas Direcciones Provinciales de Industria, organismos de las distintas Comunidades Autónomas). En cualquier caso no es aventurado estimar que el conjunto de las instalaciones productoras de frío no alimentario consume entre el 1 y el 1,5% del consumo eléctrico total neto.



3

CAUSAS DE LA TRANSFORMACIÓN EXIGIDA A LA INDUSTRIA FRIGORÍFICA

CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES.

Al abordar el tema del medio ambiente y los fluidos frigorigéneos es obligado hacer referencia a los trabajos de Sherwood Rowland y de Mario Molina /2/, que en 1975 relacionaron la disminución regional del espesor de la capa de ozono atmosférico con la acción catalítica de las moléculas de determinados compuestos halogenados derivados de hidrocarburos saturados. Estos trabajos fueron confirmados por los hallazgos del profesor J. Farman, del Servicio Británico de Exploración Antártica, que descubrió que entre 1972 y 1984 la cantidad de ozono estratosférico sobre la Antártida disminuía, en primavera, en más de un 40%, dando lugar al fenómeno conocido desde entonces como *agujero de ozono antártico*.

En los veinte años transcurridos desde entonces se han hecho miles de mediciones atmosféricas, se han aventurado innumerables cadenas de reacciones fotoquímicas de destrucción del ozono y se han propuesto incontables simulaciones numéricas para predecir la evolución del fenómeno en función de la cantidad de átomos de cloro presentes en la atmósfera. Por otro lado, también se han desarrollado numerosas teorías que pretenden demostrar lo contrario de lo que sostienen Rowland y Molina.

La alarma causada por las anteriores teorías y evidencias científicas en los países industrializados fué tal que la comunidad

científica internacional se lanzó al estudio de las causas que producen la desaparición del ozono atmosférico y a las del fenómeno en sí. Una de las causas halladas fué la emisión a la atmósfera de determinadas sustancias utilizadas, entre otros usos, como fluidos de trabajo en instalaciones de producción de frío por compresión mecánica con cambio de estado.

Desde finales del siglo XVIII los científicos y técnicos conocen la manera de producir frío artificialmente. Con el paso del tiempo las instalaciones frigoríficas se han ido haciendo cada vez más eficientes y más seguras, y los factores eficiencia y seguridad fueron precisamente los que llevaron a desarrollar, en 1930, un fluido de trabajo para sistemas frigoríficos de compresión mecánica obtenido sintéticamente por halogenación de hidrocarburos saturados. Este tipo de compuestos se conoce en la actualidad como *clorofluorocarburo* y se denomina abreviadamente *CFC*.

La aplicación de estos compuestos no se limitó a la industria frigorífica ya que su estabilidad química, sus propiedades físicas y su aparente seguridad de manejo los hacían aptos para gran número de usos industriales: agentes espumantes, propulsores de aerosoles, extintores de incendios, esterilizantes, desengrasantes... Su aceptación en todas las industrias fué tal que en 1986 el mercado mundial de CFCs ascendió a 1,13 millones de toneladas. De esta cantidad, el 23% se utilizó como fluido de trabajo en instalaciones frigoríficas /3/. En 1991 el consumo total de CFCs en los países desarrollados fué de 260.000 toneladas.

La estructura molecular de los compuestos CFC es bastante sencilla. Partiendo de un hidrocarburo saturado, se sustituyen todos los átomos de hidrógeno de su molécula por átomos de flúor y cloro. Los CFCs más utilizados en la industria frigorífica derivan del metano (CH_4) y del etano (C_2H_6). Dadas las múltiples posibilidades de sustitución (cuatro en el metano y seis en el etano), se utiliza una nomenclatura alfanumérica para identificar los diferentes compuestos. Para los fluidos frigorígenos se emplea la letra R mayúscula (de "refrigerant", frigorígeno en

inglés) seguida de una cifra de tres dígitos. *La regla básica de formación* de la cifra característica es la siguiente:

- el dígito de las centenas es inferior en una unidad al número de átomos de carbono de la molécula del compuesto.
- el dígito de las decenas es superior en una unidad al número de átomos de hidrógeno de la molécula del compuesto.
- el dígito de las unidades es igual al número de átomos de flúor de la molécula del compuesto.
- los enlaces libres del carbono se completan con átomos de cloro.

De acuerdo con esta regla básica de identificación, los CFCs son compuestos cuyo dígito de las decenas siempre es igual a uno. Ejemplos: R11, R12, R115. La recíproca no es cierta.

El enlace químico C-Cl es muy estable, de manera que cuando un CFC es liberado a la atmósfera se mantiene en ella sin sufrir alteración en su molécula durante un tiempo más o menos largo. Los CFCs tienen, pues, una vida media atmosférica muy larga, lo que les permite conservar su estructura molecular intacta hasta que alcanzan la estratosfera al cabo de tres a cinco años después de su emisión.

La Tierra recibe energía proveniente del Sol en forma de radiaciones de distintas longitudes de onda. Antes de alcanzar la superficie del planeta, las radiaciones deben atravesar la atmósfera; dicha atmósfera se compone de dos zonas, una interior, llamada troposfera, que se extiende hasta una altitud de aproximadamente 13 km y otra exterior, llamada estratosfera, que se extiende desde la troposfera hasta unos 50 km de altitud. La composición de ambas zonas es distinta, especialmente en lo que se refiere al contenido en ozono: la estratosfera contiene aproximadamente el 90% de todo el ozono atmosférico.

El espectro de emisión solar contiene radiaciones de longitudes de onda comprendidas entre 200 y 4.000 nm. Las más largas son visibles y corresponden a la luz solar, mientras que las más cortas son invisibles para el ojo humano y muy dañinas para los seres vivos: son las radiaciones ultravioletas. La capa de ozono estratosférico tiene la propiedad de absorber las radia-

ciones ultravioletas de longitudes de onda comprendidas entre 200 y 250 nm aproximadamente (UVC), y también la de reducir considerablemente el paso de radiación con longitud de onda comprendida entre 280 y 320 nm aproximadamente (UVB). En este sentido, la capa de ozono actúa como un verdadero *escudo protector*.

Cuando los CFCs alcanzan la estratosfera quedan sometidos a las radiaciones solares ultravioletas de longitud de onda más corta (UVC), las cuales provocan su fotodisociación con liberación de átomos de cloro. Una complicada serie de reacciones, aún no demasiado bien conocidas, hace que el cloro liberado destruya el ozono; dada la naturaleza catalítica de la reacción, un solo átomo de cloro puede participar en la destrucción de miles de moléculas de ozono. El fenómeno anteriormente descrito tiene lugar en la estratosfera, en la zona de 25 a 30 km de altitud que es la de mayor densidad en ozono; como consecuencia de ello, una mayor cantidad de radiación ultravioleta corta alcanza la superficie de la Tierra, pero al mismo tiempo una menor cantidad de radiación rerradiada por esa misma superficie, concretamente la correspondiente a 9.600 nm de longitud de onda, es absorbida, con lo que el equilibrio térmico del planeta se altera.

Para evaluar la capacidad de destrucción de ozono en términos cuantitativos se recurre a un índice adimensional llamado *ODP (Ozone Depleting Potential) Potencial de Destrucción de Ozono* que expresa el grado máximo en que un gas dado puede provocar la disminución de la capa de ozono; por *convención* se da el valor unidad a la capacidad del R11 para destruir ozono.

Ante la evidencia de la disminución del espesor de la capa de ozono, un numeroso grupo de países acordó controlar la producción y el consumo de las sustancias potencialmente agresivas con ella, entre las que se encuentran los CFCs. Los fabricantes de fluidos frigorígenos y la industria frigorífica se lanzaron al estudio de compuestos de reemplazo, tropezando durante el proceso de conversión con el grave obstáculo que supone la falta de información actualizada y precisa sobre los te-

mas relativos a los fluidos de sustitución y a la tecnología de instalaciones exentas de CFCs. Esto afecta directamente a la industria frigorífica, dado que gran número de instalaciones de frío comercial y doméstico, así como la práctica totalidad de las grandes instalaciones de acondicionamiento de aire, utilizan CFCs como fluido de trabajo.

Pero los CFCs no son los únicos fluidos de trabajo derivados de hidrocarburos saturados que se emplean en instalaciones frigoríficas. También existen otros obtenidos por sustitución de *algunos* átomos de hidrógeno por otros de flúor y cloro, siendo por lo tanto *hidroclorofluorocarburos, o HCFCs*.

Los HCFCs tienen una vida media atmosférica mucho más corta que los CFCs. La razón de esto hay que buscarla en el enlace químico C-H, que es considerablemente más débil que el enlace C-Cl y que se rompe en presencia de los radicales hidroxilo presentes en la troposfera. Tan solo una pequeña proporción de las moléculas de HCFCs descargadas a la atmósfera alcanzan la estratosfera y contribuyen a la destrucción del ozono del mismo modo que lo hacen los CFCs; pero como además su vida media es considerablemente más corta, la capacidad de destrucción de aquellos es menor que la de estos. Lógicamente unos fluidos exentos de cloro, que se denominan *hidrofluorocarburos, o HFCs*, no tendrán efecto alguno sobre el ozono atmosférico.

La *tabla 1* muestra la vida media atmosférica estimada para distintos gases, y los respectivos ODP.

Desgraciadamente la destrucción del ozono atmosférico no es el único problema medioambiental causado por los fluidos frigoríficos halogenados. Su liberación a la atmósfera también provoca un excesivo calentamiento global del planeta.

En la Tierra, a escala planetaria, tiene lugar un efecto de captación de energía similar al que ocurre en los invernaderos de plantas. La radiación solar que alcanza la superficie de la Tierra es parcialmente absorbida por ella, parcialmente reflejada y parcialmente rerradiada, es decir, emitida de nuevo por la propia superficie pero con longitudes de onda mayores que las de las radiaciones incidentes.

FLUÍDO	VIDA MEDIA ESTIMADA (años)	ODP
R11 (CFC)	60	1
R12 "	130	0,95
R113 "	90	0,85
R114 "	200	0,7
R115 "	400	0,4
R22 (HCFC)	15	0,05
R123 "	1,6	0,02
R124 "	6,6	0,02
R141b "	8	0,09
R134a (HFC)	16	0
R152a "	1,7	0

Tabla 1

El espectro de la radiación emitida por la superficie terrestre abarca longitudes de onda comprendidas entre 4.000 y 100.000 nm, correspondiendo fundamentalmente a radiaciones infrarrojas; ello es debido a que la temperatura superficial de la Tierra es mucho menor que la del Sol. La superficie de la Tierra se convierte, pues, en un emisor de radiaciones que deben atravesar la atmósfera en sentido contrario al de las radiaciones incidentes, y que en su camino hacia el espacio atraviesan primero la troposfera, donde se encuentran con una serie de gases que absorben gran cantidad de ellas, y después la estratosfera donde el ozono absorbe otra parte de la radiación infrarroja emitida.

La radiación proveniente del sol que alcanza la superficie terrestre eleva la temperatura de ésta; la radiación rerradiada que escapa de la atmósfera enfría la Tierra. La temperatura media de la superficie terrestre es el resultado de un equilibrio entre las ganancias y las pérdidas de energía en forma de ra-

diación. Por lo tanto, cuanto más radiación rerradiada sea retenida por la atmósfera, más elevada será la temperatura superficial de la Tierra; es el mismo efecto que tiene lugar en un invernadero, pero a escala global o planetaria. Se ha calculado que este *efecto invernadero* provoca una elevación de 33 K sobre la temperatura que habría en la atmósfera de no darse dicho fenómeno.

¿Qué gases provocan el efecto invernadero? O dicho de otro modo ¿qué gases troposféricos absorben la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre? Principalmente el CO_2 , aún cuando también contribuyen en proporción importante el vapor de agua, el ozono, los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y los derivados halogenados de los hidrocarburos saturados: CFCs, HCFCs y HFCs. Estos últimos apenas se encontraban en la Naturaleza hasta que el Hombre los incorporó de manera artificial; antes existía un equilibrio natural en el cual apenas influían las actividades humanas; los avances tecnológicos han roto ese equilibrio.

El CO_2 es el principal responsable del efecto invernadero. Este componente minoritario de la atmósfera representa apenas 1:3.000 en peso de los gases atmosféricos. Con ser aproximadamente constante, su masa se está renovando continuamente por destrucción y regeneración.

La producción de CO_2 se debe esencialmente a los procesos de combustión, a la respiración de los seres vivos y a la putrefacción de los tejidos orgánicos muertos.

La desaparición de CO_2 se debe sobre todo a la función clorofílica de los vegetales (plantas y algas), que absorben fotones de la radiación solar para formar sus propios tejidos a partir del anhídrido carbónico y del agua, liberando oxígeno. En menor proporción, el CO_2 desaparece disolviéndose en el mar y transformándose en carbonatos que acaban por precipitar formando gigantescos depósitos calcáreos en procesos que duran millones de años.

Durante siglos la actividad humana no tuvo ningún efecto medible sobre la composición media de la atmósfera. Fué incluso necesario esperar hasta la época industrial (segundo tercio

del s. XX) para poder cuantificar un efecto, la elevación media de temperatura de la superficie terrestre, imputable a la actividad del Hombre.

El análisis de las burbujas de aire ocluidas en los hielos antárticos y árticos ha permitido determinar que a mediados del s. XIX la concentración media del CO₂ en la atmósfera era 275 ppmv (parte por millón en volumen); en 1.986 la concentración medida fué 345 ppmv, o sea un 25% más. A partir de la segunda guerra mundial la combustión de ingentes cantidades de petróleo por un lado, y la deforestación incontrolada por otro, han dado lugar a la elevación de la concentración media del CO₂. Pero además, desde principios de los años 60 se están liberando a la atmósfera enormes cantidades de CFCs y HCFCs, que absorben radiación infrarroja rerradiada por la superficie terrestre en cantidad comparable a la absorción debida al CO₂.

Si los derivados halogenados de los hidrocarburos saturados se comportan de muy distinta manera con relación al ozono según que se trate de un CFC, un HCFC o un HFC, no ocurre lo mismo con su comportamiento respecto del efecto invernadero. Los tres tipos de gases son opacos a la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, y su capacidad de absorción de dicha radiación es mayor que la del CO₂, gas considerado hasta ahora como principal responsable del efecto invernadero. Los causantes de esa absorción son los enlaces químicos C-Cl y C-F; mientras se mantienen intactos, la molécula absorbe radiaciones en las longitudes de onda comprendidas entre 7.000 y 13.000 nm, espectro en el que se encuentra un gran porcentaje de las ondas rerradiadas por la Tierra. La atmósfera exenta de CFCs, HCFCs y HFCs es transparente a las mencionadas radiaciones.

La cuantificación del efecto invernadero es bastante complicada. En principio se utiliza un factor adimensional llamado *GWP (Global Warming Potential) Potencial de Calentamiento del Planeta* que es una estimación del calentamiento atmosférico máximo que puede resultar de la liberación de una unidad de masa de un gas dado referido al calentamiento que resulta-

ría de la liberación de la misma masa de CO₂. Dado que para cada gas transcurre un tiempo distinto hasta que es eliminado de la atmósfera, la variable tiempo debe aparecer en el GWP, y de ahí que dichos valores se den para distintos *ITH* (*Integration Time Horizon*) *Horizonte de Tiempo de Integración*. La Tabla 2 muestra los GWP de diversos gases estimados con ITH de 20, 100 y 500 años.

Sin embargo, el GWP es un parámetro insuficiente para caracterizar en su totalidad el calentamiento debido al efecto invernadero. El GWP tan solo da una medida relativa de la contribución de la emisión instantánea de un gas, contribución que depende de la naturaleza del gas, de su capacidad de absorción de radiaciones infrarrojas y del tiempo que tarda en ser eliminado de la atmósfera. Esta contribución es conocida como *EFFECTO DIRECTO*.

GWP				
GAS		ITH 20 años	ITH 100años	ITH 500años
CO ₂		1	1	1
R11	(CFC)	4.500	3.500	1.500
R12	"	7.100	7.300	4.500
R114	"	6.900	6.900	5.500
R115	"	5.400	6.900	7.400
R22	(HCFC)	4.100	1.500	510
R123	"	310	85	29
R124	"	1.500	430	150
R141b	"	1.800	440	150
R134a	(HFC)	3.200	1.200	420
R152a	"	510	140	47

Tabla 2

Pero también hay que tener en cuenta el llamado *EFFECTO INDIRECTO*, que tiene el significado siguiente: los fluidos frigorígenos halogenados trabajan en instalaciones consumidoras de energía, y durante el proceso de generación de esa energía consumida, bien sea de origen térmico o eléctrico, ha habido una emisión de CO₂ que ha contribuido al calentamiento global del planeta por efecto invernadero. Por lo tanto, cuanto menor rendimiento energético tenga una transformación, ciclo o sistema, mayor será su contribución al efecto invernadero por requerir mayor consumo de energía.

La combinación de ambos efectos directo e indirecto se conoce como *TEWI (Total Equivalent Warming Impact) Efecto de Calentamiento Total Equivalente*, parámetro que caracteriza la contribución al calentamiento de la atmósfera terrestre debida a un fluido frigorígeno dado trabajando en un sistema dado durante un tiempo también dado.

LEGISLACIÓN

Normativa internacional

En el año 1980 el *UNEP (United Nations Environmental Programme) Programa de las Naciones Unidas de Medio Ambiente* inició los trabajos de preparación de un convenio internacional que estableciese las líneas generales para una acción internacional con vistas a la protección de la capa de ozono atmosférico. Dichos trabajos culminaron en 1985 con la redacción de un texto que fué debatido en Viena (Austria) por un grupo de veintitrés países. En él se establecía una serie de mecanismos de investigación y de cooperación entre las Partes presentes en el Convenio, así como la adopción de medidas legislativas, todo ello tendente a proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos resultantes de las modificaciones de la capa de ozono atmosférico. Dicho texto es el *Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono* (conocido como *Convenio de Viena*), aprobado en esa ciudad el 22 de marzo de 1985 y en vigor desde el 22 de septiembre de 1988 con carácter general, y desde el 23 de octubre de 1988 en España.

Poco después de la firma del Convenio las Partes iniciaron los trabajos de preparación de un protocolo que regulase las sustancias que, aparentemente, podían influir sobre la capa de ozono. Los trabajos culminaron con la redacción de un texto llamado *Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que agotan la Capa de Ozono* (conocido como *Protocolo de Montreal*), aprobado en esa ciudad el 16 de septiembre de 1987. La importancia del Protocolo de Montreal radica en las disposiciones relativas al comercio internacional de las sustancias en él reguladas; asimismo, el texto dejaba abierta la posibilidad de ser enmendado en función de las sucesivas evidencias científicas que se fuesen obteniendo en relación con el agotamiento del ozono.

Tras las enmiendas de Helsinki (mayo de 1989), de Londres (junio de 1990), y de Copenhague (noviembre de 1992), el Protocolo de Montreal establece las limitaciones en cuanto a los fluidos frigorígenos que aparecen en la *Tabla 3*.

CFCs (*): Producción autorizada a partir de la fecha indicada en función de la producción en el año de referencia.

1 de enero de 1.993	100% del nivel de 1.986
1 de enero de 1.994	25% del nivel de 1.986
1 de enero de 1.995	25% del nivel de 1.986
1 de enero de 1.996	0% del nivel de 1.986, salvo para usos esenciales definidos por las Partes y aprobados individualmente en cada caso.

Otros CFCs ()**: Producción autorizada a partir de la fecha indicada en función de la producción en el año de referencia.

1 de enero de 1.993	80% del nivel de 1.989
1 de enero de 1.994	25% del nivel de 1.989
1 de enero de 1.995	25% del nivel de 1.989
1 de enero de 1.996	0% del nivel de 1.989, salvo para usos esenciales definidos por las Partes y aprobados individualmente en cada caso.

HCFCs: Consumo autorizado a partir de la fecha indicada en función del consumo en el año de referencia.

1 de enero de 1.996	consumo equivalente al 3,1% del consumo de CFCs en 1989 más el consumo total de HCFCs en 1.989, ponderados en ODP.
1 de enero de 2.004	65% del paso nº 1
1 de enero de 2.010	35% del paso nº 1
1 de enero de 2.015	10% del paso nº 1
1 de enero de 2.020	0,5% del paso nº 1
1 de enero de 2.030	0% del paso nº 1

(*) A efectos del Protocolo se entiende por *clorofluorocarburos* únicamente los siguientes compuestos: R11, R12, R113, R114 y R115, más sus isómeros.

(**) A efectos del Protocolo se entiende por otros *clorofluorocarburos* los siguientes compuestos: R13, R111, R112, R211, R212, R213, R214, R215, R216 y R217, más sus isómeros.

Estos calendarios entraron en vigor el 14 de junio de 1994.

Tabla 3

En su reunión de Bangkok (noviembre de 1993) las Partes no consideraron necesario hacer ninguna modificación en estos calendarios.

La Comunidad Europea ha pretendido siempre impulsar medidas más restrictivas que las del Protocolo de Montreal en lo relativo al control de las sustancias que agotan la capa de ozono. Para ello ha establecido una serie de *Reglamentos* que fijan los calendarios aplicables a esas sustancias. Dichos Reglamentos son, hasta la fecha, los siguientes:

- Reglamento CEE 3322/88 del Consejo, de 14 de octubre
 - Reglamento CEE 594/91 del Consejo, de 4 de marzo
 - Reglamento CEE 3952/92 del Consejo, de 30 de diciembre
 - Propuesta de Reglamento CEE 7409/94 del Consejo de la UE
- El Reglamento CEE 3322/88 quedó derogado en fecha 1 de julio de 1991 por el Reglamento CEE 594/91.

El Reglamento CEE 594/91, modificado por el 3952/92, establecía restricciones cuantitativas sobre la importación, exportación, producción y consumo de CFCs, así como un calendario de limitación de producción de los mismos para cada *productor* (persona física o jurídica que fabrique CFCs dentro de la Comunidad), basándose en el Protocolo de Montreal tras la enmienda de Copenhague. Este Reglamento no imponía más obligación a propósito de los HCFCs (que denomina *sustancias de transición*) que comunicar datos a las autoridades de cada Estado miembro.

La propuesta de Reglamento CEE 7409/94 regula la producción y *comercialización* de CFCs según el siguiente calendario:

- el nivel calculado del 01.01.94 al 31.12.94 no sobrepasará el 15% del nivel calculado para 1986.
- cese de producción, comercialización y utilización después del 31.12.94.

Asimismo, la comercialización y utilización de los HCFCs queda sujeta a los siguientes niveles y calendario:

- el nivel calculado del 01.01.95 al 31.12.95 y en cada período siguiente de 12 meses no sobrepasará la suma del 2,6%

del nivel de CFCs comercializado en 1989 (conocido como *CAP*) más el nivel de HCFCs comercializado en 1989.

- el nivel calculado del 01.01.2004 al 31.12.2004 y en cada período siguiente de 12 meses no sobrepasará el 65% de la cuota atribuida.
- el nivel calculado del 01.01.2007 al 31.12.2007 y en cada período siguiente de 12 meses no sobrepasará el 40% de la cuota atribuida.
- el nivel calculado del 01.01.2010 al 31.12.2010 y en cada período siguiente de 12 meses no sobrepasará el 20% de la cuota atribuida.
- el nivel calculado del 01.01.2013 al 31.12.2013 y en cada período siguiente de 12 meses no sobrepasará el 5% de la cuota atribuida.
- no habrá comercialización ni utilización a partir del 31.12.2014.

Hasta la fecha no existe ninguna ley o reglamento que regule aspecto alguno de los fluidos frigorígenos halogenados en relación con el calentamiento de la atmósfera por efecto invernadero, pero los TEWI a que, en particular, da lugar la utilización de los HFCs en las instalaciones frigoríficas podría conducir a que dichos frigorígenos pasen a ser productos reglamentados en el marco de los futuros protocolos que emanen del *Convenio de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, cuya primera Conferencia de las Partes tendrá lugar en Berlín (Alemania) en marzo de 1995. Dicho de otro modo, de la Conferencia puede emanar un protocolo que, de manera semejante a como lo fué el de Montreal con relación a las sustancias que agotan la capa de ozono, sea un primer paso para conseguir la regulación cuantitativa de los llamados gases invernadero.

Problemas inherentes a la legislación española.

La legislación española en materia de producción de frío es muy escasa. Tan solo el *Reglamento de Seguridad de Plantas e Instalaciones Frigoríficas (RSF)*, con rango de Real Decreto, tra-

ta específicamente de aquella, aún cuando también son de aplicación el *Reglamento de Aparatos de Presión*, el *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión* y el *Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente para Usos Sanitarios*, que en breve será sustituido por el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación*.

El RSF se aprobó por Real Decreto 3099/1977 de ocho de septiembre, siendo parcialmente modificado por Real Decreto 394/1979 de dos de febrero. Configura además el RSF la Orden de veinticuatro de enero de 1978 (Ministerio de Industria y Energía) por la que se aprobaron las Instrucciones Complementarias, denominadas *MI IF*, más una serie de Órdenes que modifican puntos concretos de las *MI IF*. Es de destacar que en la *MI IF002* se relacionan los fluidos frigorígenos clasificados por criterios de seguridad, no figurando ningún HFC por haberse conseguido su síntesis con posterioridad a la fecha de la Orden.

El Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y el *Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono*, una vez ratificados por España, entraron en vigor en nuestro país con fechas 23 de octubre de 1988 y 1 de enero de 1989 respectivamente. Ambos tienen rango de Ley.

El Protocolo de Montreal, en su artículo 2 "Medidas de Control", deja a criterio de cada Estado Parte el asegurarse del cumplimiento de los plazos en él establecidos. Estos criterios, en España, deben establecerse en un texto con rango de Ley puesto que este rango tiene el Protocolo de Montreal. Parece que lo adecuado sería modificar *la Ley 38/72 de Protección del Ambiente Atmosférico* para darles cabida, pero en esa Ley no se hace mención del agotamiento del ozono por desconocerse este problema en el momento de ser promulgada. No puede, pues, modificarse la Ley para establecer mecanismos de control sobre algo a lo que no hace mención. La solución parece ser incluir el tema en la futura Ley de la Atmósfera que en estos momentos se está elaborando y que figura en el calendario legislativo de la actual legislatura, si bien no con

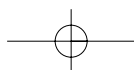
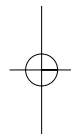
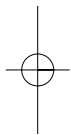
máxima prioridad por haberse decidido a nivel político anteponer la negociación de la futura Ley de Residuos a la de la futura *Ley de la Atmósfera*. Dado que estas negociaciones tendrán lugar en la Conferencia Sectorial del Medio Ambiente (órgano que coordina la Administración Central con las Administraciones Autonómicas y en el que están representadas las Administraciones Locales a través de la Federación de Municipios) y que en ella se establecerán repartos de competencias entre las distintas Administraciones Públicas, se prevé que las mencionadas negociaciones serán largas y difíciles.

Es preciso insistir en el problema que conlleva este retraso legislativo, dado que la legislación vigente no contempla a nivel nacional –por haber sido promulgada en una época anterior– el fenómeno del agotamiento del ozono y no arbitra los medios para el control de las sustancias que lo originan. Por otra parte, la legislación derivada del Protocolo de Montreal con sus sucesivas modificaciones y la procedente de Reglamentos de la Unión Europea al respecto dejan en manos de los Estados miembro la definición del régimen sancionador contra posibles infracciones, así como la de los incentivos económicos y fiscales que podrían adoptarse para favorecer la adaptación a los nuevos fluidos frigorígenos de las instalaciones existentes. Esto agudiza aún más el problema del control administrativo puesto que, en nuestro ordenamiento jurídico vigente, tanto un régimen sancionador como un régimen de incentivos económicos y fiscales deben ser aprobados mediante norma con rango de Ley, por lo que no es previsible que se pueda abordar este problema hasta la aprobación de la nueva Ley de la Atmósfera cuyo texto, actualmente en borrador, incluye ya estos aspectos fundamentales.

Algo semejante ocurre con los Reglamentos de la Unión Europea, que son de obligado cumplimiento desde su publicación en el Boletín Oficial de las Comunidades Europeas: el procedimiento de vigilancia de su cumplimiento –y de sanción en caso de incumplimiento– queda a criterio de cada Estado Miembro. Dicho procedimiento debe figurar en un texto con rango de Ley, luego no es válido modificar el RSF para contemplarlo.

Además, aún en caso de serlo y dado que las competencias en materia de industria ya están transferidas a distintas Comunidades Autónomas, éstas no estarían obligadas a cumplir lo dispuesto en el RSF. El Ministerio solamente puede recomendar su aplicación, o bien consensuar una solución con todas las CC.AA. En fecha reciente (abril de 1994), el MINER ha elaborado una propuesta de modificación de cuatro MI IF para incluir distintos aspectos relativos a los fluidos frigorígenos, incluyendo algunos HFCs.

Con tan caótico bagaje legal la industria frigorífica se encuentra en una situación desconcertante. Por un lado la insuficiente legislación no le permite conocer qué debe hacer para cumplir la normativa internacional en lo que se refiere a los fluidos frigorígenos. Por otro lado esa misma insuficiencia propicia la impunidad en caso de incumplimiento. Sin embargo, la industria frigorífica no escapa a una Ley mucho más dura: la ley del mercado.



4

AMENAZAS TECNOLÓGICAS EN LA INDUSTRIA FRIGORÍFICA

RECUPERACIÓN Y RECONVERSIÓN

Una vez identificados los problemas medioambientales antes descritos, averiguadas sus posibles causas y legisladas las medidas conducentes –en último término– a proteger la salud humana y preservar el medio ambiente, quedaba por acometer la parte más difícil del proceso: aplicar las acciones concretas que permitiesen alcanzar el objetivo fijado.

En octubre de 1988 tuvo lugar en La Haya (Holanda) una reunión de científicos del UNEP que acordaron la creación de cuatro paneles de expertos que estudiaran, respectivamente, el estado de los conocimientos científico, medioambiental, técnico y económico con vistas a la puesta en práctica del Protocolo de Montreal. Uno de esos paneles, el de Evaluación Tecnológica, recibió el mandato de preparar cinco Informes de Opciones Técnicas que trataran de las posibilidades de sustitución de los CFCs. Tras la reunión de Londres en 1990, las Partes reestructuraron los Paneles de Evaluación de forma que, entre otros cambios, agruparon los paneles Tecnológico y Económico. Así, la Evaluación Tecnológica y Económica de 1991 quedó formada por seis Comités, de los cuales dos tratan de la industria frigorífica: el *Comité de Opciones de Refrigeración* y el *Comité de Opciones Económicas*.

Los temas abordados en los informes elaborados por ambos Comités se refieren a la industria frigorífica mundial y los datos

que en ellos aparecen son datos agregados. Esta información no es, por lo tanto, directamente aplicable a ningún país en particular, pero sí permite saber cuáles son las dificultades con que, en general, van a encontrarse los distintos sectores de la industria. Lo mismo puede decirse del trabajo titulado *Energy and Global Warming Impacts of CFC Alternative Technologies /4/*, patrocinado por el programa AFEAS (*Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study*) *Estudio de Aceptación Medio-ambiental de las Alternativas a los Fluorocarburos* y por el DOE (*U.S. Department of Energy*) *Departamento de Energía de los EE.UU.*

La importancia de la industria frigorífica mundial queda puesta de manifiesto en el *Informe del Comité de Opciones Técnicas /5/* al cifrar éste en 100.000 millones de dólares USA la inversión anual mundial en maquinaria y equipamiento, siendo el valor de los productos tratados por el frío diez veces mayor. Esta es una de las razones por las que resulta difícil estimar la repercusión de la eliminación de los CFCs: pretender reemplazar los equipos existentes, algunos con más de 25 años de vida útil por delante, por otros que utilicen fluidos frigorígenos no agresivos con el ozono sería, por un lado, imposible de realizar al no tener la industria capacidad suficiente de fabricación de equipos en el plazo previsto, y por otro lado el coste de la operación sería imposible de asumir por empresas y Administraciones. Por ejemplo, se calcula que en la actualidad existen unos 120.000 compresores centrífugos en servicio utilizando algún CFC, y la capacidad mundial actual de fabricación no sobrepasa las 5.000 unidades al año. Por lo que se refiere al coste, si se admite que la vida útil restante media de los equipos frigoríficos instalados en todo el mundo es 15 años, su coste de sustitución sobrepasaría los 200 billones de ptas.

Es evidente, pues, que la industria frigorífica debe mantener operativas las instalaciones existentes, y esto es válido tanto a nivel mundial como de cada país en particular. No cabe duda de que tan pronto como dejen de fabricarse los CFCs –y aún antes– habrá desabastecimiento de los mismos. Tampoco cabe duda de que no hay suficientes existencias en el momento ac-

tual para hacer acopio del fluido necesario para reponer las pérdidas por fugas y escapes durante las operaciones de mantenimiento de las instalaciones: si en algún caso particular esto es posible, a nivel agregado es de todo punto imposible. Por lo tanto las instalaciones tienen que seguir siendo operativas:

- utilizando su propio fluido y reponiendo las pérdidas con fluido igual recuperado de otras instalaciones que dejen de ser operativas.
- utilizando fluidos distintos a los CFCs utilizados en la actualidad.

La primera opción obliga a corregir las fugas de las instalaciones existentes y a recuperar y purificar los fluidos de las que vayan a desmantelarse. Este primer punto, la corrección de fugas en las instalaciones, tiene mucha más trascendencia de la que en principio podría parecer.

La segunda opción exige disponer de fluidos que sustituyan a los CFCs y hacer que las instalaciones sean compatibles con aquellos.

Estudios realizados en distintos países europeos muestran que la mayor parte del consumo de CFCs se dedica a la reposición de la carga en las instalaciones. El Departamento del Medio Ambiente del Reino Unido encargó en 1992 un informe de situación de la industria frigorífica en ese país /6/, y en él se dice que el 75% del consumo anual de CFCs se destina a reposición de carga, elevándose las pérdidas anuales al 20% del total confinado. En Holanda, el Informe 1992 del Comité CFC –organismo de cooperación entre el Gobierno y la Industria– dice que el 80% del consumo anual se destina a instalaciones existentes. Los últimos estudios realizados en Francia dan cifras parecidas, del orden del 70%. En España no existen datos objetivos que permitan conocer la situación, pero nada hace suponer que los niveles de pérdidas sean inferiores a los de los países citados.

Las industrias frigoríficas españolas, salvo algunos contados casos de instalaciones muy antiguas, tampoco tienen más alternativas que no sean la *recuperación* para seguir utilizando el mismo fluido y la *reconversión* para utilizar nuevos fluidos. La

elección particular será fruto de consideraciones económicas; el problema técnico ya ha sido suficientemente estudiado y experimentado –fuera de nuestro país– y cuanto se necesita para ejecutar los trabajos está disponible comercialmente.

La *recuperación* consiste en mantener las instalaciones en funcionamiento reponiendo sus pérdidas con el CFC recuperado de otros circuitos. Como esas pérdidas representan un importante porcentaje de la carga del circuito, lo primero que hay que hacer es eliminarlas e impedir, en lo posible, su repetición mediante: sustitución de racores por uniones soldadas, eliminación de vibraciones, instalación de llaves de seccionamiento y de válvulas de carga y vaciado, eliminación de purgadores de descarga libre. Una vez que el circuito es hermético, las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo se realizan con recuperación previa del frigorígeno. Esta se hace utilizando un equipo especial que, antes de recargar el fluido, separa el aceite que pueda llevar y elimina el aire, humedad, acidez y partículas sólidas, pero no los ácidos y otros residuos de quemado de motor. El fluido así tratado se denomina *reciclado* y generalmente se recarga en el mismo circuito o en otro de la misma instalación.

Cuando se desmantela una instalación, el CFC que contiene debe recuperarse para ser *regenerado* y utilizado en otra. La regeneración consiste en tratar el fluido en una fábrica química de manera que vuelva a cumplir sensiblemente las especificaciones del frigorígeno nuevo. Este fluido regenerado será el único disponible comercialmente en la Unión Europea a partir de enero de 1995, una vez que se agoten las existencias del nuevo. El Informe 1991 del Panel de Evaluación Tecnológica y Económica /3/ condiciona la posibilidad técnica de cumplimiento del calendario de eliminación de los CFCs al éxito alcanzado en la recuperación, reciclado y regeneración del CFC contenido en los equipos en servicio. Análogamente, el Informe 1991 sobre Refrigeración, Acondicionamiento de Aire y Bombas de Calor del Comité de Opciones Técnicas /5/ afirma que, para minimizar los costes empresariales derivados de la desaparición de los CFCs, la transición desde éstos a los

fluidos y tecnologías alternativas necesariamente debe incluir el uso de frigorígenos reciclados y regenerados. La eventual prohibición de dichos frigorígenos acarrearía la obsolescencia inmediata de equipos valorados, en el mundo entero, entre 6 y 12 billones de PTA.

La importancia de la recuperación de fluidos frigorígenos no debe subestimarse. La *EPA (Environmental Protection Agency), Agencia de Protección del Medio Ambiente* de los EE.UU. recomienda a todas las empresas propietarias de instalaciones frigoríficas que utilizan CFCs la adopción de las siguientes medidas:

1. Designar una persona responsable de la gestión de los fluidos frigorígenos.
2. Hacer inventario de los equipos y de las necesidades de fluidos frigorígenos para mantenimiento.
3. Reducir todo lo posible las necesidades de fluidos frigorígenos mediante supresión de fugas y reciclado de los mismos.
4. Evaluar las alternativas de sustitución de los equipos y reconversión de las instalaciones.
5. Confeccionar un programa de gestión de los fluidos frigorígenos.

El punto de vista de la EPA es totalmente compartido por la Comisión de la Unión Europea, como se deduce de la obligación de recuperar los CFCs y los HCFCs impuesta por la propuesta de Reglamento CEE 7409/94 en su artículo 14. El Instituto Internacional del Frío estima en unas 200.000 toneladas la cantidad de CFCs contenida en instalaciones existentes en la Unión Europea (año 1992); si la media de reposición anual de carga es del orden del 15%, ni la producción autorizada ni las importaciones legales son suficientes para mantener en servicio todas las instalaciones. La recuperación es, pues, insoslayable. Sin embargo, la actuación de la propia Comisión contradice el espíritu del Reglamento toda vez que el Acuerdo 94/84 del 04.02.94 (BOCE del 15.02.94) autorizó un aumento de 26.000 toneladas de CFC *regenerado* sobre la cuota de importación de 1994. Debido a la sospecha de que en la Unión Europea ha tenido lugar alguna importación de CFCs

vírgenes bajo la etiqueta de regenerado, la Comisión solamente autorizará, en 1995, la importación de CFCs recuperados para su regeneración en empresas de sus Estados miembros.

Por otro lado no parece que los industriales españoles de los sectores del frío y del acondicionamiento de aire compartan el entusiasmo de la Comisión Europea por reducir el consumo de CFCs. Según fuentes del Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente durante 1986 en España se consumieron unas 5.500 toneladas de dichos frigorígenos, mientras que en 1992 la cifra osciló entre 7 y 8.000 toneladas. Dado que en este último año prácticamente ya no se cargaban CFCs en los equipos nuevos, el aumento de consumo indica que se están creando reservas estratégicas, cuando no acaparamiento.

La otra alternativa disponible para las instalaciones existentes funcionando con CFCs es la *reconversión*. Desde el punto de vista técnico el frigorígeno ideal para reconvertir instalaciones de alta presión es el amoníaco; sin embargo, su toxicidad impide que pueda utilizarse en locales de pública concurrencia en sistemas de expansión directa. Profundizando en la síntesis de compuestos halogenados, los fabricantes de frigorígenos han puesto en el mercado dos tipos de fluidos destinados a reemplazar los CFCs. El primer tipo, llamado *fluidos de sustitución*, está integrado por HFCs que tienen ODP cero al no contener cloro en su molécula. Aún cuando hay varios compuestos en estudio, tan solo unos pocos han superado totalmente los ensayos de toxicología. Dichos ensayos se prolongan durante tanto tiempo (más de 5 años) y son tan costosos que las multinacionales químicas se agruparon para crear en 1987 un programa de investigación toxicológica, el programa *PAFT (Programme for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing) Programa de Ensayo de Toxicidad de Alternativas a los Fluorocarburos*. Hoy día el R12 se sustituye casi exclusivamente por el R134a, mientras que el R502 se sustituye principalmente por el R404A, aún cuando también existen otras mezclas disponibles: R407A, R407B, R507.

La sustitución del R22 por algún HFC todavía presenta serias dificultades. Los fabricantes de frigorígenos distinguen tres cla-

ses de fluidos para su sustitución en función de su producción frigorífica específica, siendo denominados:

- sustituto de capacidad inferior, si es menor que la del R22
- sustituto de capacidad similar, si es parecida a la del R22
- sustituto de capacidad superior, si es mayor que la del R22

En la primera categoría se encuentra el R134a, con una producción frigorífica específica inferior entre el 10 y el 20% a la del R22. Los fluidos de capacidad similar y superior son compuestos binarios (como el R404A) o ternarios (como el R407C), además de algunos otros –incluso cuaternarios– cuyos componentes aún son mantenidos en secreto por razones comerciales.

En las instalaciones de baja presión (aplicaciones de acondicionamiento de aire) aún no se dispone de fluidos de sustitución para el R11, R114 y/o R113. Los fluidos estudiados como posibles candidatos o son combustibles, o no han pasado los ensayos de toxicidad. El *Anexo 1* relaciona las mezclas que es pueden ser utilizadas como fluidos de sustitución.

Los HFCs tienen el inconveniente de ser incompatibles con los aceites frigoríficos minerales utilizados con los CFCs, y el de atacar determinados plásticos y elastómeros, así como los barnices de motores. Además, suelen ser disolventes muy energéticos que arrancan impurezas depositadas en el interior de tuberías y tubos de evaporador y condensador. Por lo tanto, en la reconversión con fluidos de sustitución es obligado realizar en la instalación una serie de operaciones que requieren un estudio previo profundo con el fin de limitar la interrupción del servicio al tiempo imprescindible. Estas operaciones pueden incluir, dependiendo del tipo de instalación, la detección y corrección de fugas, el cambio de aceite mineral por otro compatible con los HFCs (el porcentaje de aceite mineral residual no debe sobrepasar el 1%), la recuperación del CFC, el cambio de elementos que lleven elastómeros no compatibles (cierre de compresor, juntas, etc...), rebobinado del motor, cambios de los filtros deshidratador y de aceite. En el caso de instalaciones grandes puede ser necesario redimensionar el evaporador y el condensador, y si además tienen más de 10 años de servicio

es recomendable hacer una verificación del estado de los tubos de ambos mediante corrientes de Foucault. El coste de tal reconversión es, forzosamente, alto.

Con objeto de simplificar –y de abaratar– las operaciones de reconversión se ha desarrollado un segundo tipo de fluidos frigorígenos conocido como *fluidos de transición*. Dichos fluidos son mezclas binarias o ternarias cuasiazeotrópicas, uno de cuyos componentes –al menos– es un HCFC, generalmente R22, con el fin de mantener la compatibilidad con el aceite mineral. Dado que los HCFCs también están reglamentados por los acuerdos internacionales, esta modalidad de reconversión tiene una validez limitada en el tiempo y, por lo tanto, solo es aconsejable realizarla en instalaciones cuya vida útil restante no sobrepase 12 o 15 años. El fluido de transición ideal sería aquel que pudiera cargarse en el circuito sin más operación que la recuperación previa del CFC. Tal fluido no existe y los que más se le acercan, conocidos como “drop-in”, siempre requieren alguna intervención. El Anexo 2 relaciona los fluidos de transición disponibles comercialmente que es posible utilizar en la actualidad. También es posible utilizar fluidos puros como fluidos de transición en algunos casos; así, el R11 se sustituye por R123, fluido conocido desde hace muchos años pero utilizado relativamente poco a causa de su ligera toxicidad. Naturalmente, el propio R22 es utilizado en ocasiones.

Los fluidos de transición deben ser compatibles con el grupo motocompresor y con los cambiadores de calor de la instalación frigorífica, y no deben requerir más que cambios de pequeña envergadura, como el filtro deshidratador o el orificio calibrado de la válvula de expansión. Puede ser conveniente sustituir el aceite mineral por otro alquilbencénico, admitiéndose una proporción residual del primero de hasta un 50%. El coste de reconversión con fluidos de transición es muy inferior al de la que emplea fluidos de sustitución.

En el Anexo 3 se indican los fluidos de trabajo considerados en 1992 alternativas posibles a los utilizados en distintos tipos de instalaciones. Hoy la lista incluiría algún otro fluido.

NUEVAS INSTALACIONES

La regulación impuesta a los CFCs no afecta a los equipos nuevos porque, sencillamente, todos los fabricantes dejaron de utilizar aquellos fluidos hace tiempo. Los equipos nuevos que puedan encontrarse en el mercado cargados todavía con CFCs o diseñados para utilizarlos provienen de existencias acumuladas por almacenistas, concesionarios y distribuidores. Estos equipos se siguen empleando en España en los frigoríficos domésticos, en el acondicionamiento de aire para automóviles e, incluso, en el acondicionamiento de aire de edificios.

Por lo que se refiere a los HCFCs y a las restricciones que la propuesta de Reglamento CEE 7409/94 les impone, se tiende a olvidar que, además de una limitación cuantitativa y temporal de su comercialización (es decir, de fabricación, importación y exportación), la norma legal impone un control de su utilización. Así, la mencionada propuesta establece que quedará *prohibida* la utilización de HCFCs como frigorigenos:

- a partir del 1 de enero de 1996 en equipos producidos después del 31 de diciembre de 1995 para los siguientes usos: sistemas no confinados de evaporación directa, refrigeradores y congeladores domésticos, instalaciones de acondicionamiento de aire de automóviles, instalaciones de acondicionamiento de aire de transporte público por carretera.
- a partir de 1 de enero de 1998 en equipos producidos después del 31 de diciembre de 1997 para los siguientes usos: instalaciones de acondicionamiento de aire de transporte público ferroviario.
- a partir del 1 de enero de 2000 en equipos producidos después del 31 de diciembre de 1999 para los siguientes usos: almacenes o depósitos públicos de productos congelados para su distribución, equipos de 150 kW o más de potencia al eje (salvo cuando existan códigos, normas de seguridad u otras limitaciones análogas relativas al uso de amoníaco).

La propuesta de Reglamento también fija en el 2,6% el porcentaje sobre la cantidad de referencia (CAP) del año 1989 que se permite comercializar.

La anterior regulación afecta directamente a los fabricantes de equipos, que deberán tenerla bien presente a la hora de confeccionar su estrategia a medio y largo plazo. Afecta también al mercado, ya que podría producirse un desabastecimiento prematuro de fluido si los fabricantes deciden acelerar la producción de equipos mayores de 150 kW para cargarlos con HCFCs, e incluso una disminución en la oferta de equipos menores de 150 kW como consecuencia de lo anterior.

No hay que olvidar que algunos países europeos están considerando la conveniencia de adelantar la prohibición de utilización de los HCFCs en instalaciones nuevas respecto de las fechas establecidas por la Unión Europea. En Alemania el uso del R22 quedará prohibido en las instalaciones realizadas a partir del 01.01.2000. Austria, Alemania, Liechtenstein y Suiza son favorables a una iniciativa conducente a reglamentar los consumos de HCFCs empezando *antes* del año 2004 y terminando *antes* del año 2030.

Esta tendencia a adelantar el calendario de limitación de usos debe ser tenida en cuenta por las empresas en sus planes estratégicos de fabricación.

AMENAZAS EN EL SECTOR ALIMENTARIO

Producción y almacenamiento

Estudios realizados por la *FAO (Food and Agricultural Organization) Organización de Alimentación y Agricultura*, estiman que entre el 25 y el 30% de la producción mundial de alimentos se desaprovecha por falta de tratamiento de conservación adecuado. En España, afortunadamente, estamos muy lejos de estas cifras, entre otras razones gracias al uso extensivo que se hace del tratamiento por frío.

La industria agroalimentaria española ha hecho un gran esfuerzo inversor en la última década, creciendo su capacidad de almacenamiento en 5 millones de m³ entre 1984 y 1994. Tan solo de 1986 –año de la incorporación de España al Mercado Común– a 1991, la inversión fué de 1 billón de PTA.

En este epígrafe vamos a tratar únicamente de las instalaciones que dan servicio a centros de tratamiento, elaboración y conservación de productos perecederos, tales como: mataderos, centrales hortofrutícolas, factorías de preparación de productos de 1ª a 5ª gama, fábricas de hielo. Dichas instalaciones tienen un tamaño medio/grande, con cámaras cuyo volumen es mayor de 1.000 m³ y con potencia instalada mayor de 50 kW.

Los datos disponibles en el Censo de la Industria Frigorífica Nacional de 1990 referentes al tipo de fluido frigorígeno utilizado no están desglosados por tamaño de instalación, de manera que no puede establecerse una relación exacta entre tamaño de instalación –o de cámara– y fluido de trabajo empleado. De los datos del Censo se deduce que el 83% de las instalaciones utiliza CFCs y el 13% utiliza HCFCs. Por otro lado, el 12% del número total de instalaciones tiene cámaras de más de 1.000 m³, representando un 80% del volumen total de éstas.

En valores absolutos, 622 instalaciones emplean amoníaco, y puede afirmarse casi con certeza que están entre las 2.132 de más de 1.000 m³ consideradas en este epígrafe. Si admitimos que se mantiene en éstas últimas la proporción de CFC/HCFC

citada anteriormente, se deduce que habría unas 1.250 instalaciones con CFCs y unas 250 con HCFCs. Aún teniendo en cuenta el notable aumento de volumen de cámaras habido en los tres últimos años, no parece probable que en el momento actual haya más de 1.500 instalaciones de producción y almacenamiento utilizando CFCs, ni más de 300 utilizando HCFCs.

En este tipo de instalaciones la producción de frío es generalmente centralizada, casi siempre a dos niveles de temperatura (circuitos de refrigeración y circuitos de congelación). Utilizan generalmente compresores alternativos, aún cuando en las más modernas se instalan cada vez más compresores de tornillo provistos de regulación de capacidad por variación de velocidad. Las cámaras están equipadas con frigoríferos y las tuberías de líquido y de vapor suelen ser de acero, de gran longitud. La cantidad de fluido frigorígeno contenido oscila entre de 5 y 10 kg por cada kW de efecto frigorífico, que representa unos 500 kg por cada m² de superficie de intercambio térmico y supone cargas totales de varias toneladas en el caso de las instalaciones más grandes. Disponen de personal de servicio –operación y mantenimiento– especializado, pero de todas formas es habitual que tengan pérdidas anuales mayores del 10% de su carga de frigorígeno. El eventual desabastecimiento de CFCs obligará a arbitrar medidas que aseguren la operación de las instalaciones durante 20-30 años aún, incluso más en algunos casos. En líneas generales pueden hacerse las siguientes recomendaciones:

- *Instalaciones antiguas o con esperanza de vida corta por dificultades de explotación.* Si utilizan algún CFC debe pensarse en la recuperación. Si utilizan algún HCFC o amoníaco, basta con mejorar el confinamiento del fluido.
- *Instalaciones con esperanza de vida larga.* Si utilizan algún CFC o HCFC, realizar un estudio serio para determinar la conveniencia de reconvertirlas, respectivamente, a un HCFC o un HFC o amoníaco (las instalaciones grandes suelen tener tuberías de acero).

Distribución minorista

En este epígrafe se consideran las instalaciones frigoríficas llamadas de consumo, del tipo de las cámaras frigoríficas de los almacenes regionales de distribución y de los centros comerciales minoristas. También se incluyen las instalaciones de venta al detalle existentes en galerías de alimentación, supermercados e hipermercados y que conforman los lineales de muebles expositores.

A 31.12.93 existían en nuestro país 7.872 establecimientos catalogados como supermercados e hipermercados (de más de 250 m² de superficie unitaria) y 740 establecimientos de los llamados "cash & carry" (autoservicio mayorista). No existen datos censales de la superficie total dedicada a distribución alimentaria en ellos, pero ésta puede estimarse en unos 5 millones de m². La práctica totalidad de estas instalaciones utiliza CFCs y HCFCs (en el caso de locales de pública concurrencia, absolutamente todos). Por lo que a cámaras de menos de 1.000 m³ se refiere, el 20% del volumen censado corresponde a 15.600 instalaciones, de las que unas 13.500 emplean CFCs y el resto HCFCs. Aún cuando no existen datos estadísticos al respecto, la explotación de gran número de instalaciones antiguas ejecutadas entre 1960 y 1970 ha sido abandonada por muy diversas razones: falta de rentabilidad de la actividad, obsolescencia de los equipos y cambio de actividad. En cualquier caso, el número de instalaciones que en el momento actual utiliza CFCs se estima en unas 12.000, y el de las que utilizan HCFCs, en unas 2.000. Si a estas cifras se añade el de las instalaciones correspondientes a los muebles expositores, no es aventurado suponer que hay unas 18.000 instalaciones afectadas por las restricciones impuestas a los CFCs y unas 3.000 por las impuestas a los HCFCs.

Las instalaciones frigoríficas comerciales tienden a presentar índices de fuga muy elevados, hasta del 100% anual de su carga. Las razones de estas fuertes pérdidas son la complejidad de los circuitos, con muchos metros de tuberías y muchas juntas y racores, así como la ausencia de personal de manteni-

miento suficientemente capacitado ya que las propiedades suelen dedicar casi todos los recursos a las ventas y no atienden demasiado las instalaciones. Por otro lado, la tendencia en estos establecimientos es a no tener inventario, por lo que el número de muebles aumenta en detrimento del volumen de cámaras de almacenamiento.

Las instalaciones típicas modernas de las grandes superficies de venta tienen tres niveles de temperatura de vaporización: alto, medio y bajo, que corresponden respectivamente a salas de preparación, de productos refrigerados y de productos congelados. Cada nivel tiene su circuito independiente, con fraccionamiento de potencia (ya empiezan a utilizarse minicompresores de tornillo), el diseño es simple y la ejecución cuidadosa para tener instalaciones fiables, sin interrupciones de servicio y que requieran poco mantenimiento, aún a costa de penalizar el consumo energético. Se estima que el 85-90% de ellas utiliza CFCs, siendo la carga 2 a 3 kg por kW de refrigeración.

En las pequeñas galerías de alimentación y pequeños supermercados los muebles expositores son autónomos, es decir contienen su instalación de producción de frío. El compresor es hermético o semihermético y las uniones de tuberías son soldadas, con lo cual el grado de confinamiento del fluido es excelente y pueden funcionar durante 15 años o más sin pérdida sensible de fluido. Aún cuando prácticamente todos utilizan CFCs, esto no es motivo de preocupación debido precisamente a la hermeticidad del circuito.

En el sector de la distribución alimentaria es donde, hasta la fecha, se da el mayor número de reconversiones de las que se tiene noticia en países de la Unión Europea. Una razón de este comportamiento es, sin duda, la manipulación que los medios de marketing hacen de las preferencias de los consumidores, favorables a políticas de conservación del medio ambiente siempre y cuando no tengan incidencia sobre el precio de la mercancía. Las multinacionales de la distribución alimentaria –que en España, salvo poquísimas excepciones, son extranjeras– saben de este fenómeno y lo aprovechan para aumentar sus ventas.

Los fluidos elegidos para la reconversión de instalaciones varían en función del fluido que debe ser sustituido y del nivel de temperatura en el evaporador. El R12 se sustituye por R134a y el R502 por R404A, R507, R407A o R407B.

Reconversiones realizadas en los EE.UU. han mostrado que si el fluido es R12 la reconversión a R134a se realiza sin pérdida sensible de potencia frigorífica en el compresor. Si el fluido a sustituir es R502 la reconversión puede hacerse a R404A ó a R507 tanto si el circuito es de temperatura media como si es de baja temperatura. Los compresores semiherméticos y abiertos pierden entre el 3 y el 5% de potencia al reconvertirlos a R507, mientras que los de tornillo ganan aproximadamente un 12%. En el caso de reconversión a R404A los compresores semiherméticos y abiertos pierden alrededor del 7% de su potencia frigorífica, mientras que los de tornillo ganan cerca del 8%. Finalmente, si el fluido utilizado originalmente es R22 la elección para reconvertir debe ser R404A en circuitos de temperatura media y R507 en los de baja temperatura.

Es importante indicar que la reconversión requiere estudiar de nuevo el dimensionado de los elementos del circuito frigorífico dado que el comportamiento de los mismos, en especial el del evaporador y el del condensador, puede ser afectado tanto positiva como negativamente por el cambio de fluido. Modificar únicamente las condiciones de trabajo del compresor no suele ser suficiente para conseguir un mayor rendimiento en la instalación.

La recuperación puede ser recomendable en el caso de instalaciones múltiples pertenecientes a una misma propiedad; se reconvierten las instalaciones con mayor vida útil restante y el fluido recuperado de ellas se utiliza para recargar aquellas con menor vida útil restante.

En las instalaciones con HCFCs es preferible optar por mejorar el confinamiento.

Transporte

El Censo de la Industria Frigorífica Nacional da la cifra de 17.530 vehículos dedicados al transporte frigorífico por carretera utilizando producción de frío por compresión mecánica, en servicio al 31.12.1990. En aquella fecha, el 85% de esos vehículos tenía 10 o menos años, y el 69% tenía menos de 6 años.

Los equipos de frío para transporte por carretera utilizan casi siempre R12 o R502, tienen potencias de refrigeración comprendidas entre 1,5 y 5 kW, y cargas comprendidas entre 3 y 6 kg. Tan solo los vehículos muy nuevos utilizan R22. Las pérdidas de fluido alcanzan porcentajes anuales bastante elevados, del orden de 25-40% de la carga, debido a las condiciones de funcionamiento desfavorables a que están sometidos: vibraciones continuas, presiones de condensación muy variables, doble nivel de temperatura de vaporización para permitir el uso polivalente del vehículo. Por otro lado, en el caso de transportes internacionales los equipos deben cumplir la normativa particular de todos los países por los que transitan.

La vida de estos equipos es relativamente corta, del orden de 10 años. Por este motivo la solución óptima para los aproximadamente 14.000 equipos que actualmente hay en servicio en España (entre camiones, remolques y semiremolques) es la reconversión a R401A o R408A (en el caso del R12), y a R402A o a R403B (en el caso de R502). Si el vehículo tiene más de 7 años de servicio es necesario hacer un estudio económico que determine la conveniencia de la recuperación, de la reconversión o de la sustitución por otro nuevo.

De la importancia del transporte frigorífico por carretera en nuestro país da idea el hecho que España acapara casi el 50% de la exportación de fresas a la Unión Europea.

El transporte frigorífico marítimo comprende los buques frigoríficos (35 con una capacidad total de 48.000 toneladas brutas, según el Censo) y las pequeñas instalaciones de enfriamiento a bordo de los pesqueros. Unas y otras utilizan siempre frigorígenos halogenados, no existiendo datos sobre número

de unidades, potencia o identidad del fluido. Dada la dependencia que del buen funcionamiento del equipo de frío tiene el estado de la captura en la lonja, aquellos suelen tener bastante buen mantenimiento, aún cuando las pérdidas son comparables a las de los equipos de transporte por carretera. En cualquier caso la mejor solución para transformar las instalaciones con CFCs es la reconversión.

El transporte frigorífico por ferrocarril no tiene demasiada presencia en nuestro país. El Censo de la Industria Frigorífica Nacional cita 100 cajas móviles frigoríficas (presumiblemente con instalaciones trabajando con CFCs) y 25 vagones frigoríficos con instalación mecánica, de titularidad privada, sobre los que no existe ningún otro dato.

Las instalaciones a bordo de aeronaves no forman parte del presente estudio porque su funcionamiento se basa en ciclos de aire.

Refrigeración doméstica

Los frigoríficos domésticos, refrigeradores y congeladores, representaron en 1990 un mercado mundial de 56 millones de unidades que crece a un ritmo del 15% anual en los países en vías de desarrollo y del 7% anual en los países desarrollados. En éstos últimos la casi totalidad de las ventas se dedica al reequipamiento de los hogares.

Los frigoríficos domésticos están equipados con circuitos de hermeticidad casi absoluta debido a las uniones soldadas en su totalidad y al grupo motocompresor hermético que siempre se instala. La vida media de dichos grupos oscila entre 15 y 20 años, totalizando entre 60.000 y 90.000 horas de funcionamiento. La reposición de un frigorífico doméstico se hace más por deterioro de sus elementos (puerta, compartimentos, bandejas) que por fallo de su circuito frigorífico.

Se calcula que en España hay entre 11 y 13 millones de unidades en servicio. La producción anual en Europa occidental alcanzó en 1990 la cifra de 15,8 millones. El fluido de trabajo utilizado hasta ese año fué, exclusivamente, R12, cuya carga

media era unos 140 gramos por unidad. A esto hay que añadir otros aproximadamente 200 gramos de CFC utilizado como espumante en el aislante /4/. Debido a la magnífica hermeticidad del circuito frigorífico, los actuales usuarios de frigoríficos domésticos apenas son afectados por los derivados de la prohibición que pesa sobre los CFCs; sencillamente, cuando llegue la hora de dar de baja su frigorífico deberán adquirir otro exento de CFCs eligiendo entre las varias marcas que ya existen en el mercado. No ocurre lo mismo con los fabricantes, que han tenido que buscar una alternativa al R12 de trabajo y se han decidido –por el momento y en Europa– casi sin excepción por el R134a. Sin embargo no parece que la naturaleza del fluido de trabajo sea único determinante en los frigoríficos domésticos del futuro: en países como España, donde la producción eléctrica es en gran proporción de origen térmico, la contribución al calentamiento global por efecto directo del fluido frigorígeno tan solo es del orden del 1-2% de su TEWI, razón por la cual los esfuerzos deben centrarse en conseguir el mayor rendimiento posible de la combinación ciclo-fluido. Hoy se estudian frigoríficos domésticos con una carga muy reducida –40 a 50 gramos– de algún hidrocarburo, generalmente propano o mezcla propano-butano. La inflamabilidad de estos fluidos no representa peligro serio dado que en caso de fuga tan solo una tercera parte de la mencionada carga, es decir unos 15 gramos, se liberaría al ambiente, quedando el resto en el circuito mezclado con el aceite.

El problema más grave –y aún sin resolver– que plantean los frigoríficos domésticos es la recuperación y/o la destrucción no contaminante de los CFCs que contienen. Solamente en España se desecha cerca de un millón de unidades al año y su tratamiento requiere un proceso complicado (por su logística de recogida y por el diseño de las instalaciones de recuperación o destrucción), caro y de difícil imputación de costes. Nuestro país no cuenta con ninguna instalación para destrucción de CFCs, y tan solo existe una planta para reciclado de estos fluidos en Sagunto (Valencia). La Generalitat de Cataluña está construyendo una pequeña instalación para recuperación

de CFCs, provenientes de frigoríficos domésticos únicamente, en la provincia de Barcelona.

Abundando sobre este particular hay que insistir en la necesidad de disponer de plantas adecuadas para la destrucción de los CFCs recuperados que, por su grado de deterioro o contaminación, no son aptos para el reciclado o la regeneración, independientemente de su procedencia. La destrucción debe ser aceptable desde el punto de vista medioambiental. Actualmente solo la incineración es utilizada comercialmente, pero los costes de destrucción igualan a los de regeneración, lo que desincentiva la práctica de la recuperación con vista a la destrucción y favorece la descarga incontrolada a la atmósfera. Otros métodos de eliminación como la pirólisis, incineración catalítica, lavado químico y oxidación supercrítica con agua están todavía en fase de estudio.

AMENAZAS EN EL SECTOR DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

Grandes instalaciones

Las instalaciones centralizadas de acondicionamiento de aire utilizan una o más unidades enfriadoras de agua, siendo bombeado éste refrigerante a las unidades terminales donde el aire ambiente se enfría y deshumidifica. El fluido frigorígeno está confinado en el equipo enfriador de agua, que es una máquina compacta y totalmente ensamblada en taller. La potencia frigorífica de los equipos empleados en estas instalaciones cubre un margen muy amplio, de 7 a 35.000 kW; las potencias pequeñas/medias se consiguen con compresores de desplazamiento positivo, mientras que las potencias medias/grandes se consiguen con compresores centrífugos.

Los compresores de desplazamiento positivo (alternativos, de tornillo, scroll) utilizan generalmente R22 como fluido de trabajo, y por lo tanto no requieren ninguna actuación urgente salvo la mejora de su confinamiento.

Los compresores centrífugos, en cambio, utilizan R11, R12, R113, R114, R123 y, en algún caso, R22 o R502. Aproximadamente el 80-85% de las unidades utiliza R11, el 10-15% utiliza R12 y el resto se reparte entre los demás fluidos. En España no existen datos estadísticos ni censales sobre el número de máquinas instaladas y en funcionamiento, pero estimaciones de diversos fabricantes cifran estas últimas entre 800 y 1.000 unidades. Según el Informe 1991 del Comité Tecnológico y Económico de Evaluación en el mundo hay unos 120.000 compresores centrífugos en funcionamiento, creciendo el mercado a un ritmo del 1,6% anual. En este sector los HCFCs son indispensables para permitir la eliminación de los CFCs en el plazo previsto. De hecho, las restricciones que afecten a la fabricación de nuevas unidades que utilicen HCFCs comprometerían la consecución de dicho objetivo. Antes que buscar el refrigerante ideal que sustituya los CFCs en los compresores centrífugos, es preferible apoyar las tecnologías basadas en los HCFCs y mantener la existencia de

repuestos para reconvertir equipos y mantenerlos en funcionamiento.

La cuidada ejecución de las unidades enfriadoras de agua hace de ellas unos equipos de vida útil muy larga, entre 30 y 40 años, y con pocas pérdidas de refrigerante. Se calcula que los equipos que trabajan con R11 pierden del orden del 15% anual de su carga, pero el 90% de estas pérdidas se debe al funcionamiento de la purga de incondensables. Los equipos que trabajan con fluidos que vaporizan a presiones positivas pierden del orden del 8% anual de su carga.

La solución para hacer frente a la desaparición de los CFCs puede ser tanto la reconversión como la recuperación.

La reconversión de un compresor centrífugo es una operación complicada que requiere la intervención del fabricante desde el primer momento dado que el cambio lleva implícitas modificaciones sustanciales en el equipo y en el diseño. Todo el sistema debe ser revisado teniendo en cuenta factores tan diversos como la edad de la máquina, su historial de mantenimiento y la naturaleza del material de las partes no metálicas (juntas, sellos, prensas, diafragmas, barniz del bobinado del motor eléctrico). Además suele ser necesario realizar cálculos computerizados para determinar la opción de cambio más conveniente desde el punto de vista del rendimiento y de la potencia.

Hoy día no existe más que un HCFC, el R123, para sustituir al R11 en los compresores centrífugos. El R123 no es un fluido nuevo, lleva muchos años empleándose precisamente en esos compresores a pesar de su mayor toxicidad, cuyos efectos deben prevenirse con un buen sistema de detección y ventilación en la sala de máquinas. Su utilización en compresores que trabajaban con R11 conlleva una pérdida de potencia frigorífica debido a las distintas propiedades termofísicas de ambos fluidos; para compensarlas, es necesario cambiar el impulsor del compresor, lo que puede exigir también el cambio de la transmisión mecánica, del motor eléctrico y hasta del arrancador. También puede ser necesario modificar las superficies de intercambio térmico (evaporador y condensador). La unidad de

purga de gases incondensables sigue siendo imprescindible. Como contrapartida, el R123 es compatible con los aceites minerales. En definitiva, la reconversión resulta una operación muy cara, oscilando su coste entre el 70 y el 110% del precio de un equipo nuevo. Por este motivo se recomienda la recuperación previa mejora del confinamiento del fluido.

Para mejorar el confinamiento del refrigerante existen en el mercado equipos auxiliares como: purgas de incondensables con recuperación de más del 95% del refrigerante arrastrado, dispositivos de presurización del circuito durante los períodos de no operación, equipos para recogida del fluido durante las operaciones de mantenimiento y válvulas de sobrepresión que sustituyen a los discos de ruptura. Añadiendo a esto la mejor hermeticidad que proporcionan las uniones soldadas en sustitución de las roscadas, los compresores pueden seguir trabajando con R11 durante su vida útil restante. El coste de las actuaciones para mejorar el confinamiento oscila entre el 20% y el 50% de una máquina nueva.

Los compresores que utilizan R12 se reconvierten a R134a de manera relativamente sencilla. La operación más complicada es el cambio de aceite, que requiere hasta cinco vaciados para conseguir que el residuo mineral no sobrepase un 1% en el aceite nuevo. La menor capacidad frigorífica del R134a queda compensada por el mayor coeficiente de transmisión térmica en los intercambiadores, con lo que la capacidad del sistema no varía sensiblemente y no suelen necesitarse modificaciones en las superficies de intercambio. Por el contrario, el energético poder disolvente del R134a obliga a cambiar el filtro utilizando un tamiz molecular más fino. Naturalmente, la reconversión a R134a es mucho menos costosa que la reconversión a R123.

Equipos unitarios

Los llamados equipos unitarios abarcan un grupo muy amplio de acondicionadores de aire y bombas de calor condensados por aire, con capacidades frigoríficas comprendidas entre 2 y

420 kW, utilizados para climatizar desde habitaciones en viviendas hasta grandes salas de restaurantes, oficinas o centros comerciales.

Pueden distinguirse dos categorías cuya frontera de capacidad se sitúa alrededor de los 20 kW.

En la primera se encuentran los acondicionadores individuales (de ventana y portátiles), con capacidades entre 2 y 10 kW; los sistemas partidos (*split system*, en inglés), que llegan hasta 20 kW; y los equipos autónomos para distribución de aire conducido, que no suelen sobrepasar los 17,5 kW. Todos van equipados con compresores alternativos herméticos, aún cuando ya existen en el mercado unidades que incorporan compresores "scroll" y rotativos. El fluido de trabajo es, casi sin excepción, el R22, y la carga se sitúa alrededor de 0,25 kg por kW de refrigeración. La hermeticidad de estas máquinas es muy buena, comparable a la de los refrigeradores domésticos, aún cuando en el caso de los sistemas partidos está comprometida por la conexión (rígida o flexible) entre la unidad interior y la exterior. La vida útil puede alcanzar 12/15 años.

La otra categoría está constituida por los grandes equipos autónomos que dan servicio, hasta incluso a edificios enteros. Son las llamadas unidades de cubierta (*roof top units*, en inglés) cuya capacidad frigorífica va de 20 a 420 kW. Esta categoría tiene en común con la anterior tanto la condensación por aire como el empleo de R22 como fluido frigorígeno. En España la instalación de estas unidades de cubierta está bastante generalizada.

La regulación sobre los CFCs no afecta a los equipos unitarios, pero algunas unidades con muchos años de funcionamiento pueden requerir la sustitución de determinados elementos. En ese caso parecería indicado proceder a una reconversión para utilizar algún HFC, pero esta operación es virtualmente imposible hoy en día dado que, hasta la fecha, ningún candidato a sustituir el R22 ha superado totalmente los ensayos de toxicidad y combustibilidad. El R134a sería el único candidato posible, pero como el diseño de los equipos unitarios ha sido realizado para conseguir un rendimiento óptimo con R22, sería ne-

cesario modificar el tamaño del evaporador, el desplazamiento volumétrico del compresor y el diámetro de las tuberías de líquido, además de cambiar el aceite. De no hacerse, el rendimiento de la máquina disminuiría mucho, llegando a tener insuficiente capacidad frigorífica; de hacerse, el coste de la intervención sería comparable al de una máquina nueva. La única actuación posible es, pues, la mejora del confinamiento.

En España se observa una tendencia a diseñar los sistemas de climatización para grandes edificios mediante una multitud de equipos de baja potencia en lugar de centralizar la producción de frío. Ese sistema, que indudablemente tiene ventajas desde el punto de vista del control individualizado de las condiciones ambientales, conlleva graves perjuicios para el medio ambiente. En primer lugar se incrementa la carga de frigorígeno empleada en el conjunto del edificio por ser generalmente algo mayor la carga de frigorígeno por kW de refrigeración en los equipos unitarios que en las plantas enfriadoras, y también porque la suma de potencias de los equipos unitarios es mayor que la potencia de la enfriadora única al no permitir aquellos la aplicación de un coeficiente de simultaneidad. En segundo lugar, al ser menor el rendimiento de un equipo unitario que el de uno centralizado en todas las condiciones de funcionamiento (el COP de una planta enfriadora de agua es, como mínimo, 1,5 veces el de un equipo unitario), el calentamiento del planeta por efecto indirecto debido a aquellos es mayor. En tercer lugar, la multiplicación de unidades aumenta la probabilidad de fuga, sobre todo si se tiene en cuenta que las instalaciones integradas por equipos unitarios suelen tener peor mantenimiento que las centralizadas. Finalmente, el empleo de plantas centralizadas permite considerar el empleo de amoníaco gracias, en parte, al grado de desarrollo alcanzado por la tecnología de fabricación de cambiadores de calor con cambio de fase del tipo placas. Desde el punto de vista de la protección del medio ambiente sería de desear una intervención de la Administración para corregir esta tendencia cuya razón debe buscarse, fundamentalmente, en intereses comerciales. Un medio adecuado de ejercer dicha intervención po-

dría ser recoger la problemática descrita en el nuevo *Reglamento de Condiciones Térmicas de la Edificación* actualmente en fase de redacción.

Instalaciones en vehículos automóviles

Los equipos de acondicionamiento de aire en vehículos a motor (turismos, autocares, autobuses y camiones) utilizaban exclusivamente R12 como fluido de trabajo hasta el año 1992 aproximadamente. Desde esa fecha los fabricantes incorporan sistemas funcionando con R134a. La Asociación Nacional de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC) cifra el parque español actual con acondicionamiento de aire entre 1 y 1,5 millones de vehículos, siendo muy pequeña la proporción de los que trabajan con R134a. La carga media de los circuitos es de 1,2 kg, y el índice de pérdidas es bastante elevado, estimándose que durante la vida del equipo deben recargarse 0,4 kg por año.

En lo que se refiere al equipo de acondicionamiento de aire la situación del parque español de vehículos es lamentable. Por un lado, los propietarios no consideran dicha instalación como una parte más del vehículo que también requiere mantenimiento preventivo, de manera que tan solo se ocupan de ella cuando no enfría, es decir cuando ha perdido carga de frigorígeno. Por otro lado, una parte de los talleres que reparan los equipos carecen de conocimientos y de medios para llevar a cabo correctamente los trabajos. La total ausencia de reglamentación relativa a este tipo de instalaciones y la competencia en el mercado propician actuaciones absolutamente contrarias al Protocolo de Montreal, siendo práctica usual en algunos talleres descargar a la atmósfera el fluido remanente en el circuito cada vez que se realiza una intervención. De no establecerse mecanismo corrector alguno, puede asegurarse que en un plazo máximo de tres años el parque automovilístico español va a liberar a la atmósfera entre 1,2 y 1,8 millones de kg de R12.

El subsector de acondicionamiento de aire de vehículos será el primero de nuestro país en sufrir las consecuencias de las res-

tricciones impuestas a los CFCs. ANFAC estima que, como media, un vehículo recibe un máximo de cuatro recargas completas de frigorígeno durante su vida útil; una vez que se hace necesario recargar con mayor frecuencia que un año, el propietario renuncia al acondicionamiento de aire, o bien esta circunstancia coincide con el cambio de vehículo. Aún cuando se llevase a efecto desde hoy mismo un programa general de recuperación de fluido en los talleres –algo totalmente utópico dada la lentitud de actuación de las Administraciones– no se conseguiría recuperar frigorígeno más que para cubrir aproximadamente el 40% de las necesidades de servicio, sin constituir reserva alguna.

El Informe 1991 del Comité de Opciones Técnicas estima que la mejora de la hermeticidad de los circuitos y la mejora en las prácticas de mantenimiento reducirán las necesidades de frigorígeno para recarga a 0,24 kg por vehículo y año. La única solución viable es la reconversión de la instalación para utilizar R134a. Esto exige las operaciones ya conocidas de mejora de la hermeticidad, cambio de aceite, cambio del filtro desecador y sustitución de algunos elementos no metálicos como conductos flexibles y juntas tóricas. Las pruebas realizadas demuestran que una instalación diseñada para trabajar con R12 puede hacerlo con R134a, después de los cambios mencionados, perdiendo tan solo aproximadamente un 10% de su capacidad. Por lo que se refiere al coste de la operación, estudios realizados en 1992 en EE.UU. cifran ésta entre 400 y 450 dólares USA por vehículo. En España no se tiene experiencia a este respecto, pero no es aventurado suponer que el cambio podría llegar a costar, si está bien hecho, del orden de 75.000 PTA.

Finalmente es necesario señalar que en nuestro país existen muchas marcas de turismos que instalan, de forma todavía legal, equipos de acondicionamiento de aire cargados con R12; en estos casos, tanto si el equipo es comprado como si es objeto de regalo por parte del vendedor, el comprador debería ser advertido de que, en breve plazo, sufrirá las consecuencias del desabastecimiento de dicho fluido frigorígeno.

AMENAZAS EN EL SECTOR SANITARIO

Uno de los sectores que potencialmente puede verse más afectado por la escasez de CFCs que va a derivarse, a corto plazo, de la normativa vigente es el integrado por Hospitales y Residencias Sanitarias.

En efecto, en la actualidad estas instituciones emplean CFCs en las siguientes aplicaciones:

- acondicionamiento de aire en zonas hospitalarias residenciales
- acondicionamiento de aire en quirófanos
- congelación y conservación de órganos, tejidos, plasma, etc
- conservación de productos farmacéuticos
- otras (frigoríficos en cocinas, oficinas, etc)

La importancia de este sector para la salud de la población es tal que las Autoridades Sanitarias competentes (Centrales, Autonómicas o Locales) no deben inhibirse ante el problema de desabastecimiento que se avecina. Es preciso acometer con la mayor urgencia planes de adaptación paulatina de estas instalaciones a los flúidos frigorígenos alternativos.

La situación es tanto más grave cuanto mayor es la componente pública de la institución sanitaria, porque es patente la menor elasticidad del sector público al acceso de unos stocks de CFCs cuyo precio irá encareciéndose a medida que aumente su escasez en el mercado. Esto producirá, además, un mayor deterioro de las deficitarias economías de dichas instituciones.

Por ello urge que el Insalud por un lado y las Administraciones Autonómicas con competencia en materia de sanidad por otro, adopten de inmediato planes y medidas para abordar este problema.

AMENAZAS EN OTROS SECTORES INDUSTRIALES

El frío industrial comprende un campo muy amplio tanto de aplicaciones como de condiciones de trabajo en la industria química, petroquímica, farmacéutica, metalúrgica, obras públicas e incluso deportes. Casi todas las instalaciones de este sector tienen una serie de características comunes que las diferencian de las de los demás sectores:

- la capacidad frigorífica es grande, mayor de 100 kW, y la carga de frigorígeno puede alcanzar varias toneladas.
- el sistema da servicio a un proceso de producción.
- las operaciones de mantenimiento están a cargo de personal bien cualificado.
- la zona donde se encuentran la maquinaria frigorífica y las tuberías es de acceso restringido.

Por lo tanto, la operatividad del sistema, el consumo de energía y el precio del frigorígeno son factores que pueden tener más importancia que el posible riesgo debido a la toxicidad y/o combustibilidad de este último.

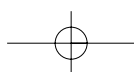
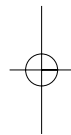
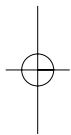
Las aplicaciones de temperaturas más bajas, por debajo de -60°C , se consiguen con sistemas en cascada que utilizan dos frigorígenos distintos; las demás utilizan un único fluido, que suele ser R13 entre -75 y -45°C , R22, amoníaco y –a veces– R502 entre -45 y -30°C , y R12 por encima de -30°C , salvo los enfriadores de agua de proceso que utilizan R11. Las industrias que procesan hidrocarburos utilizan estos mismos fluidos como frigorígenos. En España no existen datos sobre proporción de utilización de los distintos frigorígenos.

Las industrias antes mencionadas utilizan también bombas de calor, que son máquinas frigoríficas en las que se busca aprovechar el calor cedido al condensador. Las bombas de calor industriales tienen potencias comprendidas entre 100kW y varios MW térmicos, con temperaturas de condensación entre 80 y 120°C , cargas de fluido de trabajo comprendidas entre $0,25$ y $2,5$ kg/kW y COPs del orden de 3. El número *horas equivalentes de trabajo* de estos equipos es muy elevado, del

orden de 8.000 al año, consecuencia de ser utilizados fundamentalmente en procesos productivos. Más del 85% de las bombas de calor industriales utilizan, a partes casi iguales, R12 y R22.

La vida útil de las instalaciones de frío industrial y bombas de calor sobrepasa 30 años, y las actualmente en servicio van a sufrir los efectos de la desaparición de los CFCs. Si la vida útil restante de las instalaciones industriales que utilizan alguno de estos fluidos es muy larga, 15 o más años, la recuperación puede no ser interesante al no existir garantía de suministro de CFCs durante tanto tiempo. La reconversión se impone entonces como solución hasta que llegue el día de la sustitución, pero el nuevo refrigerante debe estar disponible como mínimo durante 20 años después de la adaptación de la instalación. Dado que en las instalaciones industriales es habitual el empleo de tuberías e intercambiadores de calor de acero, la reconversión a amoníaco es considerada como una buena alternativa tanto a los CFCs como a los HCFCs. El R22 es la mejor elección para sustituir los CFCs, salvo en turbocompresores, por ser el fluido que menos modificaciones exige al sistema y, por lo tanto, el de menor coste. Los turbocompresores industriales que trabajan con R12 se reconvierten ventajosamente a R134a, mientras que los que emplean R11 deben ser adaptados al uso de R123. En cualquier caso, cada industria debe hacer un estudio profundo de las alternativas que tiene, eligiendo la que suponga menores costes en el conjunto de la vida útil restante de la instalación, y por supuesto sin interrupción del proceso productivo durante la ejecución.

Los datos suministrados en el Informe 1991 del Comité de Opciones Técnicas muestran que el reciclado de CFCs ha progresado a un ritmo más lento del esperado, posiblemente por falta de motivación económica. Sin embargo, el reciclado es vital para conseguir la transición de CFCs a otros fluidos sin padecer desabastecimiento. A nivel agregado, del 5 al 10% de la actividad mundial en frío industrial se dedica a la reconversión.



5

ACTUACIONES NECESARIAS PARA PALIAR LOS EFECTOS DE LAS RESTRICCIONES IMPUESTAS SOBRE LOS FLUÍDOS FRIGORÍFICOS HALOGENADOS

Los empresarios españoles con intereses ligados a la industria frigorífica deben hacer frente a tres problemas. El primero, asegurar *con carácter inmediato* la continuidad de funcionamiento de las instalaciones que utilizan algún CFC como fluido de trabajo. El segundo, planteado a más largo plazo pero con fechas establecidas, la adecuación de sus equipos e instalaciones (nuevos y existentes) a la situación que se creará en el mercado con la regulación de la comercialización y las restricciones de uso de los HCFCs. Finalmente el tercero, provocado por la absoluta necesidad de minimizar el TEWI de las instalaciones, consistente en el diseño de una política común de la industria frigorífica tendente a desarrollar nuevas tecnologías que permitan obtener mejores rendimientos energéticos en instalaciones que utilicen fluidos de trabajo con pequeño o nulo efecto directo en relación con el efecto invernadero.

Resulta obvio reiterar el retraso de la industria frigorífica española en emprender las acciones conducentes a resolver el problema citado en primer lugar. Salvo casos aislados excepcionales, la pasividad de los empresarios ante un desabastecimiento inevitable es incomprensible. También es incomprensible la falta de iniciativa de las Administraciones, que debían haber orientado –cuanto menos– a los distintos sectores con instrucciones y normas que facilitasen el cumplimiento de los

Reglamentos CEE. En lo que se refiere a investigación, en nuestro país no se ha hecho el menor esfuerzo por buscar soluciones originales. Por todo ello, lo único que se puede hacer es aplicar en los equipos e instalaciones la solución disponible comercialmente –por lo general, patente extranjera– más adecuada a cada caso particular.

El segundo problema citado, creado por la regulación impuesta a los HCFCs, aún admite para su solución el planteamiento de estrategias empresariales –en el caso de fabricación– y de estudios sobre diseño de equipos y sobre nuevos fluidos de trabajo –en el caso de aplicación a instalaciones existentes–.

Finalmente, el calentamiento de la atmósfera terrestre como consecuencias de la emisión de gases invernadero constituye una amenaza a la que es posible oponer soluciones innovadoras emanadas de la investigación y el desarrollo tecnológico.

INFORMACIÓN Y NORMATIVA

El primer requisito para resolver un problema, sea del tipo que sea, es conocer y entender su naturaleza y magnitud. Desde hace años los diversos medios de comunicación han informado a la opinión pública sobre “el agujero de ozono” y sobre “el efecto invernadero” pero esta información no ayuda a los principales afectados que son, en nuestro caso, los empresarios y los usuarios de instalaciones frigoríficas. La información que ambos necesitan es específica a su sector de actividad concreto y quien está obligado a proporcionársela es la Administración. Esta información –bien documentada, contrastada, inteligible, concisa– reduciría la incertidumbre de los empresarios a la hora de tomar decisiones y permitiría a los usuarios profanos (oficinas con pequeñas instalaciones de acondicionamiento de aire, puestos de galerías de alimentación, etc...) saber cuál es el verdadero problema al que deben enfrentarse; además tendría como segundo objetivo (que no objetivo secundario) crear una predisposición para aceptar, en su día, los costes que inevitablemente conlleva la transformación.

La propia Administración está tanto o más necesitada de información que los empresarios y los usuarios. Sus necesidades, además de las puramente técnicas, se refieren a la estructura del mercado y de la industria del frío. El conocido *Censo de la Industria Frigorífica Nacional* es una aproximación bastante buena a lo que interesa conocer, pero prácticamente está limitado al sector de cámaras frigoríficas y no explota más que una pequeña parte de las posibilidades que hoy permiten los medios informáticos de tratamiento de bancos de datos. Sería de gran ayuda que en España hubiese una iniciativa similar a la emprendida por el Departamento del Medio Ambiente del Reino Unido, que en 1992 confió a un grupo consultor la redacción de un informe /6/ en el que abordasen los siguientes temas:

- Estructura del mercado de frío industrial y de acondicionamiento de aire.
- Consumo actual de CFCs.
- Fluídos frigorígenos distintos de los CFCs y tecnologías que les son propias.
- Fugas y recuperación de fluídos frigorígenos.
- Experiencia de la industria en la sustitución de los CFCs.
- Evaluación de las necesidades de CFCs hasta el año 2000.
- Directrices y recomendaciones para todos los afectados.

Aunque tarde, la Administración española todavía está a tiempo de encargar un estudio similar –ya que ella no cuenta ni con los medios ni con el dinamismo que se requieren para hacerlo– referido a los HCFCs.

Otra iniciativa que beneficiaría a todos los afectados sería la organización de reuniones sectoriales con responsables de la Administración para que los distintos grupos afectados tomasen conciencia del problema y pensasen en la adopción de medidas paliativas consensuadas con aquella. Al mismo tiempo la Administración solicitaría datos que pudiesen servir para la confección de censos y estadísticas actualizados.

En materia de normativa que ayude a aplicar los Reglamentos CEE del Consejo de la Unión Europea, la situación en España es de auténtico vacío legal. Recordemos que la propuesta de Reglamento CEE 7409/94 se aplicará a la *producción, importación, exportación, suministro uso y recuperación de*, entre otros fluídos, los *CFCs* y *HCFCs*, y que también se aplicará a la *comunicación de datos* sobre los mismos. El desempeño de la *inspección* del cumplimiento del programa de eliminación (en sus tres actividades de producción, suministro y utilización) es asignado por la propuesta de Reglamento a la *Comisión*, que podrá recabar toda la información necesaria de los Gobiernos y de las autoridades competentes de los Estados miembro, así como de las empresas. Serán las autoridades competentes de los Estados miembro las que realicen las investigaciones que la Comisión estime necesarias con arreglo al Reglamento. Es urgente que la Administración del Estado haga saber sin ambigüedades quienes son las *autoridades competentes*, así

como que dicte las normas que sirvan de fundamento legal para la actuación de unos servicios aún por estructurar y dotar. Por lo que refiere a *sanciones*, la propuesta de Reglamento establece que serán los Estados miembro los que determinen aquellas que deban aplicarse en los supuestos de infracción de las disposiciones de la citada propuesta y, en su caso, las medidas nacionales para su ejecución. Nuevamente es urgente la intervención de la Administración para procurar el fundamento legal que permita aplicar en España lo ordenado por la Unión Europea.

El *control de las emisiones*, tanto a nivel de *recuperación* de sustancias reguladas usadas como de *escapes* de las mismas, es objeto de un capítulo en la propuesta de Reglamento CEE 7409/94. Además de obligar a la recuperación de los CFCs y HCFCs contenidos en los aparatos de refrigeración y de acondicionamiento de aire comerciales e industriales bien para su reciclado o regeneración, bien para su destrucción, la propuesta de Reglamento deja a criterio de los Estados miembro la definición de los requisitos mínimos de cualificación del personal de mantenimiento. Lo mismo ocurre en lo que atañe a la prevención de escapes de esos fluidos. La actuación llevada a cabo en los distintos países ha sido diversa, pero casi siempre ha consistido en *prohibir* la emisión de fluido (con multas millonarias y pérdida de la licencia profesional en los EE.UU.) y en hacer *voluntaria* mediante examen la acreditación de los conocimientos técnicos. La tendencia es, no obstante, a que las personas que hacen trabajos de mantenimiento posean *obligatoriamente* una acreditación de conocimientos conseguida mediante el oportuno examen.

La propuesta de Reglamento CEE 7409/94 también prevé la *comunicación de datos* relativos a las sustancias que regula. A partir de 1995 y con límite el 31 de marzo de cada año, cada productor, importador y exportador de sustancias reguladas comunicará a la Comisión, con copia a la autoridad competente del Estado miembro interesado, la información relativa a, entre otros,

- las cantidades recicladas
- las cantidades destruidas mediante procedimientos técnicos aprobados por las Partes
- las existencias

La obligación de comunicación de datos se retrotrae incluso al período 01.01.93 a 31.12.93.

Dadas las fechas en que estamos (finales de 1994), no parece probable que la Administración española vaya a conseguir redactar, aprobar y publicar a tiempo todas las normas que estará obligada a establecer sin ambigüedades para que las empresas puedan cumplir las obligaciones una vez aprobada la propuesta de Reglamento CEE 7409/94. Esto es especialmente grave en lo que respecta a la prohibición de liberar CFCs a la atmósfera, pues sin una ley que obligue a los usuarios y prevea el castigo de los infractores, ¿por qué razón habrían aquellos de realizar un desembolso mayor en operaciones de mantenimiento que incluyan la recuperación del fluido? Se crea aquí un vacío legal de consecuencias difíciles de predecir.

Una acción interesante sería que España participase de manera activa en el Comité Técnico nº182 del Consejo Europeo de Normalización (CEN), creado en 1989 y denominado *Sistemas frigoríficos: exigencias de seguridad y de medio ambiente*. En el seno de este Comité existe un Grupo de Trabajo centrado en el tema *Aspectos de las emisiones y del medio ambiente*.

Como conclusión de todo lo anterior puede decirse que es necesario promover un cambio de mentalidad en todas las personas que, de un modo u otro, tienen que gestionar *fluidos frigorígenos halogenados (FFH)*. Ello requiere un esfuerzo muy importante por parte de las distintas asociaciones profesionales para sensibilizar a usuarios, empresas y centros de enseñanza y para emprender acciones coordinadas que deben tener la ayuda de las Administraciones Central y Autonómicas. El Instituto Internacional del Frío lleva publicando desde 1987 una serie de *Notas Informativas* que constituyen un ejemplo a seguir. Por su especial interés y actualidad, las Notas 6ª a 10ª se reproducen en el *Anexo 4*.

CAPACITACIÓN

La formación de técnicos especialistas en el manejo de los nuevos FFH, en especial de las mezclas, preocupa desde hace años a los gobiernos de casi todos los países empeñados en la defensa del medio ambiente atmosférico. El Instituto Internacional del Frío, en su 10ª Nota Informativa (junio de 1994), es concluyente en su valoración de este particular: *muy pocos técnicos e ingenieros son capaces de manipular adecuadamente las mezclas de FFH*. Esta afirmación también es cierta en el caso de España, y se requiere una acción coordinada a nivel nacional para remediar la insuficiente formación en éste y otros aspectos de la refrigeración práctica.

Existe el peligro de que la inminente desaparición de los CFCs pueda originar confusión entre el personal de mantenimiento por no haberse difundido suficientemente la información relativa a los fluidos alternativos. En el caso de España este problema puede agravarse dado que la mayor parte de la información disponible está en inglés. Es, pues, urgente disponer del material didáctico y organizar la enseñanza para ese personal.

A nivel internacional, las iniciativas en el campo de la formación son abundantes y suficientemente contrastadas. *El Grupo de Trabajo sobre CFCs* del Instituto Internacional del Frío recomendaba ya en 1988 la "mejor formación de las personas y de las empresas" como prioridad número uno entre las acciones destinadas a reducir las pérdidas de frigorígeno en las instalaciones. El *Comité Europeo de Constructores de Material Frigorífico (CECOMAF)*, en el que España participa, recomienda desde 1989 un Programa de Formación con tres niveles, según que vaya dirigido a mecánicos frigoristas, técnicos frigoristas de grado medio o técnicos frigoristas de grado superior. Este programa podría servir de punto de partida para la confección de otro, adaptado a las necesidades específicas de nuestra industria, y que necesariamente debería incluir los siguientes temas:

- Impacto medioambiental de los FFH
- Reglamentación internacional
- Técnicas de manipulación
- Refrigeración práctica
- Evaluación de las habilidades prácticas

En España existen bastantes centros, públicos y privados, donde se imparten módulos de enseñanza sobre frío a nivel de formación ocupacional. Uno de los centros oficiales, el *Centro Nacional de Formación Ocupacional del INEM* en Moratalaz (Madrid) es, en virtud del RD 631/1993 de tres de mayo, *Centro Nacional de Frío y Climatización* y ya imparte cursos para Montadores Frigoristas según el programa Eurocualificación. Con su experiencia adquirida desde que en 1977 inició la enseñanza práctica del frío, el CNFO INEM puede representar un modelo de institución adecuada para desarrollar el programa de capacitación preconizado. Otros centros oficiales son los que figuran en la relación siguiente:

- FP Castrillón/P. Blancas
Avda. Principal La Ferrote, s/n Castrillón (Asturias)
- FP Isidor Macabich
Barrio Blancadorada Ibiza (Baleares)
- IPFP de Palma
Menorca, 1 Palma de Mallorca (Baleares)
- IPFP Luis de Lucena
Francisco Aritio,93 Guadalajara
- CEI Alcalá de Henares
Alapardo, s/n Alcalá de Henares (Madrid)
- CFP San Fernando
Ctra Colmenar Viejo, km. 13,5 Madrid
- IPFP Virgen del Pilar
Pº Reyes de Aragón, 20 Zaragoza

También existen centros privados que, generalmente en concertación con los departamentos competentes de distintos gobiernos autonómicos, imparten enseñanza de frío a nivel de formación profesional.

Los centros de Formación Profesional de segundo grado que existen en Barcelona y La Coruña son de todo punto insuficientes para atender las necesidades del mercado.

Como ya se ha dicho, la capacitación todavía es voluntaria en aquellos países que la tienen reglamentada, aún cuando en un futuro próximo es de esperar que se convierta en obligatoria, como es el caso de los EE.UU. de Norteamérica donde se exige la certificación oficial de aptitud para la manipulación de FFH a partir del 15.11.1994.

La *certificación personal de aptitud* debería llevar implícito un *número de registro profesional* al cual deberían referirse todas las *transacciones de fluidos reglamentados*. Para esto sería necesaria la existencia de un *Registro de Suministro de FFH* y de un *Registro de Recuperación de CFCs*, coordinados ambos por una *Oficina de Seguimiento de FFHs* donde se procesase la información enviada por los profesionales y donde se controlase el cumplimiento de las normas sobre reciclado, regeneración y destrucción de los CFCs.

ACCIONES DE I+D

Existen tres razones por las que la Humanidad no puede prescindir, hoy por hoy, de la industria frigorífica:

- el suministro de alimentos en el mundo se basa fundamentalmente en el tratamiento de los mismos por el frío.
- la producción de bajas temperaturas es imprescindible en innumerables actividades industriales.
- el acondicionamiento de aire en viviendas, oficinas y locales de pública concurrencia es un componente importante de la calidad de vida en los países desarrollados.

El Convenio de Viena reconoce implícitamente este hecho cuando, en su artículo tercero, las Partes se comprometen a realizar investigaciones sobre *“sustancias y tecnologías alternativas”*, y cuando cita en su Anexo 1 a los alcanos total y parcialmente halogenados (CFCs y HCFCs). El Protocolo de Montreal y el Reglamento de la Unión Europea son documentos cuya aplicación permitirá restablecer el equilibrio del ozono estratosférico.

En lo que atañe a la industria frigorífica, los plazos dados permiten una paulatina eliminación de los fluidos regulados en las instalaciones existentes y su sustitución por otros que, en aras de la mayor economía de la operación, son de la misma familia (derivados halogenados de hidrocarburos saturados). Sin embargo esto no resuelve totalmente el peligro de deterioro del medio ambiente atmosférico. Tanto los fluidos de transición como los de sustitución tienen un GWP elevado, aunque menor que el de los CFCs, con lo que el riesgo de calentamiento excesivo de la atmósfera por efecto invernadero persiste. Sin embargo, todavía no existe ninguna norma legal que regule los fluidos causantes de este fenómeno.

Si la industria frigorífica hace uso intensivo y extensivo de los sistemas de producción de frío por ciclos de compresión de vapor es porque éstos son conocidos y utilizados con ventaja desde hace más de un siglo, habiéndose conseguido optimizar su rendimiento energético y habiéndose llegado a fabricar equipos muy fiables con costes moderados debido a los grandes

volúmenes de producción. Pero esos sistemas no son ni los únicos posibles ni los únicos conocidos.

A medida que el problema del calentamiento de la atmósfera por efecto invernadero se vaya agravando, se deberá prestar más atención al TEWI de las instalaciones frigoríficas. Como ya se ha explicado, este TEWI consta de dos sumandos: un efecto directo debido al GWP del fluido frigorígeno y un efecto indirecto función del rendimiento energético de la instalación y de su número total de horas de funcionamiento. En los países donde la producción de energía eléctrica de origen térmico supone un porcentaje elevado del total producido, el efecto indirecto cobra especial relevancia. Desde este punto de vista la situación en España no es desfavorable: ocupa el último lugar entre los cinco países de la Unión Europea cuya producción neta de energía eléctrica supera los 100.000 GWh anuales, según se desprende de la *tabla 4*.

Producción neta de energía eléctrica (año 1992)					
(Fuente: Forum Atómico Español)					
País	Total	Térmica clásica			
Alemania	497.835 GWh	327.734 GWh	<>	65,8 %	
Bélgica	68.380 "	26.051 "	<>	38,1 %	
Dinamarca	28.253 "	27.428 "	<>	97,1 %	
España	150.207 "	77.070 "	<>	51,3 %	
Francia	441.787 "	48.250 "	<>	10,9 %	
Grecia	34.387 "	32.014 "	<>	93,1 %	
Países Bajos	74.250 "	70.416 "	<>	94,8 %	
Irlanda	14.970 "	13.945 "	<>	93,1 %	
Italia	214.202 "	165.872 "	<>	77,4 %	
Luxemburgo	1.144 "	550 "	<>	48,1 %	
Portugal	27.737 "	22.745 "	<>	82,0 %	
Reino Unido	298.017 "	222.735 "	<>	74,7 %	

Tabla 4

Como se dijo anteriormente, la industria química mundial ya ha lanzado al mercado fluidos frigorígenos que no agreden a la capa de ozono y además dispone de conocimientos y medios para desarrollar otros nuevos. No ha lugar, pues, a investigar lo que ya está disponible en el mercado ni lo que los mejores laboratorios especializados están estudiando.

En España la solución al problema creado por la desaparición de los CFCs es de naturaleza económica y logística, y, si se quiere, política; pero no científica. La investigación española en el campo de la producción de frío debe orientarse hacia la obtención de una tecnología alternativa a la ahora existente en los sistemas que utilizan fluidos frigorígenos halogenados. Dicha tecnología debe tener la consideración de recurso estratégico, toda vez que de ella va a depender que se pueda evitar un peligro cuya ocurrencia tendría consecuencias irreversibles. Los fluidos frigorígenos halogenados, como se ha visto, se proscriben por su elevado GWP, pero plantearse hoy como único objetivo minimizar este parámetro sería un enfoque equivocado –por insuficiente– desde el punto de vista científico. El problema debe abordarse con un planteamiento general, y puesto que lo realmente importante es minimizar el TEWI de las instalaciones frigoríficas, los fluidos frigorígenos deben considerarse tan solo como uno más de los factores que contribuyen al deterioro del medio ambiente. Una política de investigación inteligente debe acometer el estudio global del problema que se presenta a más largo plazo, estudio que ciertamente ofrece numerosas posibilidades a los investigadores.

Los sistemas frigoríficos son grandes consumidores de energía, pero desgraciadamente lo hacen con rendimientos increíblemente bajos, entre el 10 y el 25% de lo que los ciclos teóricos permitirían. Es evidente que existe margen suficiente para mejorar esos porcentajes, por poco que sea, en sistemas reales. Aquí se abre todo un abanico de líneas de trabajo susceptibles de ser acometidas, condicionadas todas ellas por las *fuerzas impulsoras* que actúan en este momento sobre la industria frigorífica. Dichas fuerzas impulsoras son, por un lado, el medio ambiente, y por otro lado el propio mercado que presiona des-

de tres frentes: la apertura de nuevos mercados en los países en vías de desarrollo, la reposición de equipos como consecuencia de la obsolescencia de los ya instalados y la competencia motivada por la presencia de nuevos proveedores, que se traduce en la batalla por la innovación y la calidad. El esfuerzo de los investigadores debe centrarse en aunar innovación y calidad con respeto al medio ambiente.

Las líneas de investigación posibles son de tres tipos: las que buscan mejorar los sistemas de producción frío que absorben energía mecánica, las que buscan mejorar sistemas que absorben otro tipo de energía y las que buscan mejorar las instalaciones tanto en su fase de diseño como de ejecución.

La mejora de los ciclos de compresión mecánica puede conseguirse con fluidos de trabajo halogenados (mezclas de fluidos conocidos o fluidos nuevos), aún cuando esta posibilidad quedará previsiblemente limitada en el tiempo si se reglamentan los gases invernadero. También pueden estudiarse fluidos "naturales", es decir, existentes en la naturaleza pero de uso limitado como refrigerantes: CO_2 , alcanos. Los ciclos de aire, cuyo principal inconveniente es el coste de las instalaciones, son una posibilidad que debe estudiarse profundamente.

El amoníaco, fluido refrigerante por excelencia, merece mención aparte dentro de los sistemas de compresión mecánica. Si bien es cierto que su toxicidad obliga a someterlo a una reglamentación muy rigurosa, no es menos cierto que la tecnología mecánica de que hoy se dispone permite afrontar los problemas derivados de aquél hecho con soluciones seguras. La refrigeración indirecta con amoníaco como refrigerante primario y soluciones de glicol como refrigerante secundario permite cumplir con facilidad las normas de seguridad exigidas. Los cambiadores de calor de placas que ya se utilizan también como condensadores y evaporadores posibilitan reducir la carga de refrigerante a valores no superiores al 20% de las actuales. Los nuevos aceites refrigerantes sintéticos miscibles con el amoníaco reducen los problemas de retorno de aceite. Puede incluso considerarse un efecto benéfico del amoníaco sobre el medio ambiente y la economía española, pues la mayor deman-

da de glicol para refrigerantes secundarios daría una nueva utilidad a los actuales excedentes de vino. La contrapartida del mayor coste de la instalación, superior entre un 25 y un 30% a las de refrigeración directa, debería ser tenida en cuenta por las autoridades dentro de un plan global de incentivación a las soluciones no contaminantes.

Los sistemas de sorción presentan gran interés tanto si se trata de ciclos de absorción en fase líquida como de adsorción o absorción química en fase sólida. Los estudios de ciclos de absorción tienden a mejorar el bajo rendimiento que les caracteriza bien combinándolos con ciclos de compresión mecánica (ciclos híbridos), bien multiplicando el número de etapas, pero siempre revalorizando calores residuales. Los ciclos de sorción en fase sólida, diferenciados entre sí por la naturaleza de los sólidos que intervienen en el ciclo hermético (adsorbentes, reactivos químicos e hidruros metálicos), se perfilan como una alternativa a los ciclos de compresión mecánica en instalaciones que produzcan hasta 1 kW/kg de sorbente, para niveles de temperatura que cubran desde la climatización hasta la congelación a -40° C aproximadamente.

Recientemente se está estudiando la producción de frío por efecto termoacústico, aún cuando lo limitado de las potencias hasta ahora obtenidas equiparan este sistema, en sus posibles aplicaciones, al de producción de frío por efecto termoeléctrico. Por el contrario, los equipos de producción de frío basados en el efecto magnetotermoeléctrico han alcanzado ya, a nivel de prototipo, un desarrollo que les permite competir en prestaciones con los grandes enfriadores de líquido /7/ aún cuando económicamente todavía distan mucho de ser competitivos.

Las casi ilimitadas posibilidades de cálculo que ofrecen los ordenadores permiten resolver problemas de optimización de geometría en las superficies de intercambio térmico de las instalaciones, así como simular comportamientos sin necesidad de dedicar recursos costosos.

Naturalmente, la anterior relación de posibles líneas de trabajo no es exhaustiva. Las referencias bibliográficas /8/, /9/, /10/ y /11/ contienen trabajos que exponen detalladamente

el estado actual de las tecnologías alternativas para producción de frío.

Cabe ahora formular una pregunta de difícil contestación: ¿quién debe investigar? En términos generales, la industria frigorífica española no tiene tradición investigadora. En cuanto a los centros públicos, la investigación en materia de frío se lleva a cabo de forma dispersa en Departamentos de distintas Universidades y en equipos pertenecientes a Organismos Públicos de Investigación (OPIs). La inclusión de los problemas medioambientales como denominador común de los estudios que, de ahora en adelante, se realicen en el campo de la producción y aplicación del frío aconsejan ordenar y coordinar los esfuerzos conducentes a su solución, de manera similar a como se hace en otros países europeos, especialmente Noruega.

Un Centro Técnico de ámbito nacional es, a nuestro entender, el marco físico y administrativo idóneo para desarrollar los trabajos antes indicados. La Resolución de 1 de marzo de 1.989 (BOE del 13 de marzo de 1.989) de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología define qué son los Centros Técnicos y qué objetivos persiguen. Aún cuando la mencionada Resolución se refiere, dentro del Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, al Programa Nacional de Tecnología de Alimentos, la exposición de motivos es aplicable a cualquier otro sector industrial.

Los Centros Técnicos se conciben como centros que *"además de hacer investigación, realicen servicios de asistencia técnica y sirvan de enlace entre los Centros públicos (de investigación) y las Empresas de un sector"* (transcripción literal de la Resolución). Con ello se busca *"potenciar la conexión entre la investigación que efectúan los Centros públicos y los posibles usuarios de los resultados que se obtengan"*. Continúa la Resolución: *"Por todo ello, se intenta promover la creación de Centros Técnicos nacionales que, además de llevar sus propias líneas de investigación, propuestas por la industria o adelantándose a los problemas de la misma, efectúen la transferencia de conocimientos y tecnología que hayan desarrollado o que proceda de Centros de Investigación nacionales o extranjeros."*

Un Centro Técnico de ámbito nacional que cuente con el patrocinio de las empresas afectadas por la regulación que establecen el Protocolo de Montreal y el Reglamento de la Unión Europea es sin duda la mejor garantía de que la investigación que en él se realice será la adecuada para contribuir eficazmente a resolver los retos con que se enfrenta la industria frigorífica nacional.

La financiación de sus líneas de trabajo estaría asegurada por la presencia de las propias empresas, que podrían contratar la investigación y el desarrollo de sus sistemas y de sus equipos. Si los trabajos se presentan en la forma de proyectos con participación de empresas y de algún OPI, pueden optar a financiación con cargo a programas de la UE o nacionales .

El Programa de Medio Ambiente del IV Programa Marco de la UE mantiene abierta una línea de investigación que ya existía en el III Programa Marco y que está incluida en el Área 3: *Tecnologías para Proteger y Rehabilitar el Medio Ambiente*; los proyectos de investigación precompetitiva, para los cuales está pensado el IV Programa Marco, tienen cabida en dicha línea. También tiene cabida en ella el programa BRITE-EURAM II (perteneciente igualmente al mencionado IV Programa Marco), concretamente en el Área 1.2, punto 1.2.1: *Desarrollo de Tecnologías Limpias*.

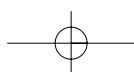
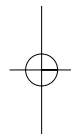
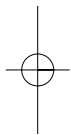
La Comisión Europea tiene la intención de refundir, para el período 1994-1998, los proyectos Joule y Thermie en un único proyecto cuya denominación posible es *Tecnologías Energéticas Limpias y Eficientes*. Este nuevo proyecto, que quedaría incorporado al IV Programa Marco, financiaría *proyectos de I+D y acciones de demostración* que estudiaran el *uso racional de la energía en las industrias* (mejora del rendimiento de instalaciones), la *lucha contra la contaminación ambiental* (nuevos sistemas de producción de frío) y en la *utilización de energías renovables* (ciclos de absorción con apoyo de energía solar), entre otros.

En España el Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico financia los proyectos de desarrollo precompetitivo con el Programa de Estímulo a la Transferencia de Re-

sultados de Investigación, (PETRI). Los proyectos de investigación en ciencia básica pueden buscar financiación en el Programa Sectorial de Promoción General del Conocimiento, también del Plan Nacional.

La creación de un Centro Técnico requiere la intervención de actores muy diversos. La iniciativa corresponde a las empresas y asociaciones de empresas relacionadas con la industria frigorífica; a continuación la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología debe hacer pública la convocatoria de concesión de ayudas para la constitución del Centro Técnico. Finalmente las Asociaciones de Investigación (entendiendo como tales las asociaciones sin fin lucrativo que se propongan la potenciación de la investigación), las propias empresas patrocinadoras y científicos y tecnólogos, participan en los proyectos. Todos estos actores deben movilizarse de forma concertada para alcanzar el objetivo que se proponen, y corresponde a los poderes públicos estimular la concertación por su intervención en aquellos campos que son de su competencia específica: legislación, inspección, percepción de tasas según el principio *"el que contamina, paga"*, financiación de la formación y de la investigación.

Hoy los Gobiernos y las empresas utilizan cada vez más la preocupación medioambiental como una ventaja competitiva. Si ello se traduce en esfuerzo para conseguir tecnologías y productos que ayudan al desarrollo sostenible, la competencia se convierte en un poderoso motor que hace avanzar en la dirección del objetivo buscado.





La siguiente relación incluye los principales centros públicos que, en diferentes Comunidades Autónomas del Estado español, realizan actividades de I+D en temas relacionados con producción y/o aplicación del frío. Las líneas de trabajo actuales conocidas de los centros figuran a continuación de éstos.

ANDALUCIA

E.T.S. Ingenieros Industriales de Sevilla, Cátedra de Termodinámica.

- aplicaciones de acondicionamiento de aire

ARAGÓN

Centro Politécnico Superior de Ingenieros de Zaragoza, Área de Máquinas y Motores Térmicos.

- modelización de compresores frigoríficos
- simulación de instalaciones frigoríficas

CASTILLA-LEÓN

Universidad de Valladolid, Dpto. de Física Aplicada.

- propiedades físicas de FFH

ETS Ingenieros Industriales de Valladolid, Cátedra de Termodinámica.

- aplicaciones de acondicionamiento de aire

CATALUÑA

Universidad Politécnica de Cataluña, Dpto. de Máquinas y Motores Térmicos

- máquinas de absorción amoníaco-agua
- compresores alternativos "booster" mejorados

Universidad Rovira i Virgili, Dpto. de Ingeniería y Mecánica.

- producción de frío por ciclos de absorción

GALICIA

Universidad de Santiago de Compostela, Dpto. de Física Aplicada

- propiedades físicas de mezclas utilizadas en ciclos de absorción

MADRID

Instituto del Frío (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), Dpto. de Ingeniería.

- propiedades físicas de fluidos refrigerantes orgánicos
- acumulación de frío
- aplicaciones industriales de mezclas zeotrópicas

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC), Planta Experimental de Energía Solar.

- producción de frío por absorción

ETS Ingenieros Industriales, Cátedra de Termodinámica.

- transporte frigorífico

Universidad de Alcalá de Henares, Dpto. de física.

- procesos de congelación

NAVARRA

Universidad Pública de Navarra, Dpto. de Ingeniería de Alimentos.

- gestión informatizada de instalaciones frigoríficas

PAIS VASCO

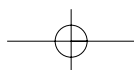
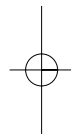
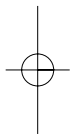
ETS Ingenieros Industriales, Cátedra de Termodinámica
Universidad del País Vasco, Facultad de Ciencias, Dpto. de
Ingeniería Química.

- procesos de deshidratación controlada

VALENCIA

Universidad Politécnica de Valencia, Dpto. de Termodinámica
Aplicada.

- simulación de instalaciones frigoríficas
- prestaciones de los nuevos FFH en instalaciones frigoríficas



7

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

AFEAS: *Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study*, Estudio de Aceptación Medioambiental de las Alternativas a los Fluorocarburos

CFC: *Chlorofluorocarbon*, Clorofluorocarburo

DOE: *Department of the Environment*, Departamento del Medio Ambiente (de los EE.UU.)

EPA: *Environmental Protection Agency*, Agencia de Protección del Medio Ambiente (de los EE.UU.)

FAO: *Food and Agricultural Organisation*, Organización de la Alimentación y la Agricultura

FFH: Fluido Frigorígeno Halogenado

GWP: *Global Warming Potential*, Potencial de Calentamiento del Planeta

HCFC: *Hydrochlorofluorocarbon*, Hidroclorofluorocarburo

HFC: *Hydrofluorocarbon*, Hidrofluorocarburo

ITH: *Integration Time Horizon*, Horizonte de Tiempo de Integración

ODP: *Ozone Depleting Potential*, Potencial de Agotamiento de Ozono

PAFT: *Programme for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing*, Programa de Ensayo de Toxicidad de las Alternativas a los Fluorocarburos

RSF: Reglamento de Seguridad de Plantas e Instalaciones Frigoríficas

TEWI: *Total Equivalent Warming Impact*, Efecto de Calentamiento Total Equivalente

UNEP: *United Nations Environmental Programme*, Programa de Medio Ambiente de la Naciones Unidas

BIBLIOGRAFÍA

- /1/ **Censo de la Industria Frigorífica Nacional**
Centro de Publicaciones. Ministerio de Industria,
Comercio y Turismo, 1990.
- /2/ **Stratospheric sink for chlorofluoromethanes;
chlorine atom catalysed destruction of ozone**
Molina, M.J., Rowland, F.S.
Nature, 1974, 249, pag. 810-814
- /3/ **Technology and Economic Assessment Panel
Report**
Montreal Protocol 1991 Assessment
United Nations Environmental Programme, diciembre
1991
ISBN 92-807-1314-0
- /4/ **Energy and Global Warming Impacts of CFC
Alternative Technologies**
Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability
Study
(AFEAS), y U.S. DOE, diciembre 1991
- /5/ **Refrigeration, Air Conditioning and Heat
Pumps**
Report of the Technical Options Committee
Montreal Protocol 1991 Assessment
United Nations Environmental Programme, diciembre
1991
RWR-570-LK-91423-al
- /6/ **CFCs in the UK refrigeration and air
conditioning industries. Usage and scope for
substitution**
Department of the Environment
HMSO, Londres (Reino Unido) 1992
ISBN 0 11 752728 9

- /7/ **Magnetocaloric Air Conditioning: A More Efficient, Environmentally Safe Technology For large Scale Applications**
J.A. Waynert; M.J. Nilles; H.G. Campbell
Proceedings of the 1994 International CFC and Halon Alternatives Conference, pag. 215-222
Washington DC (EE.UU.), 24-26 octubre 1994
- /8/ **Energy and Global Warming Impacts of Not-in-Kind and Next Generation CFC and HCFC Alternatives**
Steve Fisher
Oak Ridge National Laboratory
Oak Ridge, TN (EE.UU.), 1993
- /9/ **Proceedings of the Refrigeration and Air Conditioning Technology Workshop**
Breckenridge, CO (EE.UU.), 23-25 junio 1993
Edita: Oak Ridge National Laboratory
Oak Ridge, TN (EE.UU.), 1993
- /10/ **Proceedings of the 1993 Non Fluorocarbon Insulation, Refrigerant and Air Conditioning Technology Workshop**
Wiesbaden (Alemania), 27-29 septiembre 1993
Edita: Oak Ridge National Laboratory
Oak Ridge, TN (EE.UU.), 1993
- /11/ **Energy and Global Warming Impacts of CFC Alternative Technologies II**
Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study
(AFEAS), y U.S. DOE, diciembre 1994



- ANEXO 1.** Mezclas de sustitución
- ANEXO 2.** Mezclas de transición
- ANEXO 3.** Fluidos frigorígenos utilizados y posibles alternativas
- ANEXO 4.** Notas Informativas del Instituto Internacional del Frio

ANEXO 1.**MEZCLAS DE SUSTITUCIÓN
(no contienen cloro)**

Denom ASHRAE.	Composición (% en peso)		Desliz. (K) a 1 atm.
404 A	R 125/143a/134a	(44/52/4)	0,8
407 A	R 32/125/134a	(20/40/40)	6,4
407 B	"	(10/70/20)	4,1
407 C	"	(23/25/52)	7,1
?	"	(30/10/60)	7,4
?	R 32/125/143a	(10/45/45)	0,5
?	R 32/134a	(30/70)	7,4
507	R 125/143a	(50/50)	0,0
410 A	R 32/125	(50/50)	<0,1
411 A	R 1270/22/152a	(1,5/87,5/11)	?
411 B	"	(3/94/3)	?
?	R 290/600a	(50/50)varía	8,6
?	R 23/32/134a	(2/31/67)	9,5

Adaptado de:
D.A. Didion
Nat. Inst. St. & Tech.

ANEXO 2.
MEZCLAS DE TRANSICIÓN
(contienen cloro)

Denom ASHRAE.	Composición (% en peso)		Desliz. (K) a 1 atm.
401 A	R 22/152a/124	(53/13/34)	4,9
401 B	"	(61/11/28)	4,6
401 C	"	(33/15/52)	4,7
402 A	R 125/290/22	(60/2/38)	0,9
402 B	"	(38/2/60)	1,0
403 A	R 290/22/218	(5/75/20)	2,5
403 B	"	(5/56/39)	0,9
405 A	R 22/152a/142b/C318	(45/7/5,5/42,5)	5,6
406 A	R 22/600a/142b	(55/4/41)	9,9
408 A	R 125/143a/22	(7/46/47)	0,5
409 A	R 22/124/142a	(60/25/15)	7,9

Adaptado de:
D.A. Didion
Nat.Inst.St.&Tech.

ANEXO 3.

FLUÍDOS FRIGORÍGENOS UTILIZADOS ACTUALMENTE Y POSIBLES ALTERNATIVAS

Aplicación	Actual	Alternativa
Refrigeración doméstica	R12	R134a R152a R22 401A, 401B, 401C
Refrigeración comercial	R12	R22 401A, 401B, 401C R134a R152a Amoníaco
	R502	Amoníaco R22 R125 R143a R32 403A, 403B 402A, 402B R507
	R22	?
Refrigeración industrial	R22	R134a R125 R32
	Amoníaco	
	R12	R134a
	R502	R22
	R11	R123
	R13	R23

Aplicación	Actual	Alternativa
Almacenes frigoríficos	Amoníaco	
	R22	?
	R12	R134a mezclas
	R502	R32 R125 mezclas
Acondicionamiento de aire	R22	R32/R152a
	R11	R123
	R12	R134a R22/R142b
	R500	R134a
	R114	R227 R124
Bombas de calor	R12	R134a R152a R22 401A,401B,401C
	R22	R22/R23 R22/R142b R32/R152a
	R502	R22 R152a
	R11	R123
	R114	R227 cloruro de etilo

Adaptado de: K. Stephan y R. Krauss
IIF 1992/1
ISSN 0151-1637

ANEXO 4.

INSTITUTO INTERNACIONAL DEL FRÍO

Organización intergubernamental creada en París
por Acuerdo Internacional de 21 de Junio de 1920
177, boulevard Malesherbes - F 75017 PARIS, Francia
Tel: (331) 42 27 32 35
Télex ININFRI 643269 - Fax:(331) 47 63 17 98

6ª NOTA INFORMATIVA SOBRE CFCS Y REFRIGERACIÓN

Noviembre, 1990

En la Conferencia del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) celebrada en Londres a finales de Junio de 1990, los países firmantes del Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que agotan la Capa de Ozono acordaron reducir paulatinamente la producción de fluidos parcial o totalmente halogenados, con fechas límite que dependían del potencial de agotamiento de ozono de los fluidos.

Debido a que tal acuerdo era previsible, la industria del frío y del acondicionamiento de aire, incluidos tanto científicos como fabricantes, ha estado investigando activamente durante los últimos años sustitutos para los sistemas que funcionan con los frigorígenos incluidos en los acuerdos de Londres. En este contexto, el término "sustituto" ha de ser considerado en su sentido más amplio e incluye frigorígenos puros, mezclas de fluidos, así como procesos de producción de frío distintos a los sistemas de compresión mecánica de vapor.

Como se señaló en las anteriores notas sobre CFCs distribuidas por el Instituto Internacional del Frío, el desarrollo de sistemas frigoríficos capaces de reemplazar a los que actualmente emplean fluidos halogenados no sólo es complejo y lento sino que, además, es muy caro, con independencia de los esfuerzos realizados por la industria para reducir el tiempo de investigación y desarrollo.

Entre los muchos procesos y sistemas que se están considerando hay uno que merece una cuidadosa atención: concretamente, el uso más generalizado de máquinas de compresión de amoníaco

El propósito de la presente nota informativa es revisar:

- las propiedades del amoníaco como frigorígeno
- el potencial para desarrollar nuevas máquinas de amoníaco
- los riesgos que presenta el amoníaco para el hombre y el medio ambiente

1 - AMONÍACO: UN EXCELENTE FRIGORÍGENO

El amoníaco es incluso hoy día uno de los mejores frigorígenos, y debe ser tenido en cuenta en el futuro como uno de los sustitutos más eficaces para los flúidos incluidos en el Protocolo de Montreal.

Como frigorígeno, el amoníaco tiene muchas ventajas. Las más importantes son las siguientes:

- tiene buenas propiedades termodinámicas y buenas propiedades de transmisión de calor y masa; más concretamente, en determinadas condiciones de trabajo el rendimiento del sistema frigorífico es uno de los más elevados.
- es químicamente inerte con todos los materiales del sistema frigorífico, salvo con el cobre y sus aleaciones. Dado que se ha empleado extensamente éste último en los sistemas con flúidos halogenados, no puede emplearse el amoníaco como sustituto en un circuito que se haya construido originalmente para dichos frigorígenos.
- no se disuelve en el aceite de lubricación.
- no es sensible al aire húmedo o al agua.
- las fugas, incluso las pequeñas, se detectan fácilmente; por este motivo es muy improbable que se produzcan fugas durante largo tiempo, con la consiguiente pérdida de capacidad de enfriamiento.
- es el frigorígeno más barato disponible hoy día.
- las máquinas frigoríficas para amoníaco son competitivas en lo referente a precio, no sólo en la inversión inicial, sino

también en los costes de operación (de forma especial en el consumo energético)

2 - PLANTAS FRIGORÍFICAS DE AMONÍACO. PRESENTE Y FUTURO

Los sistemas de compresión mecánica de vapor son preferidos a otros sistemas de producción de frío debido a su eficacia y bajo precio, al desarrollo de las redes eléctricas, a la notable fiabilidad de los motores eléctricos y la continua disminución del precio de la electricidad.

Por tanto, un gran número de industrias (químicas, del petróleo, alimentarias) ha adoptado unidades de compresión de amoníaco siempre que se han necesitado potencias frigoríficas muy grandes (100 kW o más).

No obstante, el desarrollo del R12 y otros refrigerantes halogenados -cuyas propiedades son muy diferentes de las del amoníaco (por ejemplo, no tóxicos, inflamables e inodoros, pero sensibles a trazas de humedad, requiriendo el uso de compresores semiherméticos y hermeticos)- en los años 30, llevó a que se usaran extensamente en refrigeradores y congeladores domésticos, equipos de refrigeración comercial al por menor (especialmente en supermercados), acondicionamiento de aire de automóviles y trenes, así como de edificios (viviendas unifamiliares, grandes edificios de oficinas y residenciales, salas de concierto, hospitales, etc.), transporte de alimentos perecederos, y para la mayoría de las bombas de calor.

Sin embargo, alguno de los efectos de la crisis energética de los 70 han sido:

- atraer la atención sobre los sistemas frigoríficos, especialmente el sistema de absorción que es capaz de funcionar con calor residual de baja energía.
- mejorar de forma significativa el rendimiento energético de los compresores.
- desarrollar nuevos dispositivos de compresión (incluido compresores de tornillo, scroll, etc...)

Finalmente, la preocupación por el agotamiento de la capa de ozono estratosférico ha acelerado los estudios sobre sistemas

que no utilizan fluidos incluidos en el Protocolo de Montreal. El amoníaco, en especial, con propiedades muy bien conocidas, ha sido el tema de numerosos estudios para extender su uso a áreas previamente reservadas a sistemas que funcionan con R12, R22 y R502. Es un hecho que, en la actualidad, los fabricantes son capaces de fabricar compresores de amoníaco de pequeña potencia y que equipos de acondicionamiento de aire con amoníaco pueden instalarse para reemplazar equipos diseñados para funcionar con frigorigenos CFCs o HCFCs, teniendo en cuenta las limitaciones de diseño de los sistemas de amoníaco (nada de cobre o aleación de cobre) y la obligada separación de la maquinaria frigorífica y los cambiadores de calor de los locales acondicionados (utilizando un sistema de refrigeración indirecta con fluido refrigerante secundario).

3. EL AMONÍACO Y EL HOMBRE

El amoníaco se ha usado durante más de un siglo como frigorigeno en máquinas frigoríficas de compresión mecánica de media y gran potencia (en la actualidad se estima que hay unas 300.000 plantas de compresión de amoníaco en todo el mundo) y en máquinas frigoríficas de absorción para frigoríficos domésticos, así como en sistemas industriales de gran capacidad para recuperación del calor residual de baja energía.

El amoníaco, sustancia que se da de forma natural, es fabricado en grandes cantidades por empresas químicas (la producción mundial se cifró en 120 millones de toneladas en 1984) para diferentes usos, la mayoría de ellos relacionados con los fertilizantes agrícolas.

Se admite que el amoníaco presenta algunos riesgos:

- El amoníaco es inflamable cuando su concentración en el aire está entre el 16 y el 25% (es decir, entre 160.000 y 250.000 ppm). El punto de inflamación del amoníaco (temperatura más baja a la que se produce la combustión espontánea en combinación con el aire) es 651°C. Estos dos valores muestran que el riesgo de ignición es bastante pequeño.
- La disolución del amoníaco en agua y en soluciones acuosas es altamente exotérmica (dando lugar a un grave riesgo de

quemaduras en los ojos cuando hay vapor de amoníaco en un espacio cerrado).

- El amoníaco tiene un efecto sofocante. Se estima que el máximo nivel de exposición sin riesgo del ser humano es de 25 ppm. El olor característico del amoníaco puede dar lugar situaciones de pánico, incluso en pequeñas concentraciones en el aire. Concentraciones más altas producen serias dificultades respiratorias, e incluso asfixia siendo la dosis letal de 30.000 ppm. No obstante, no hay efectos tóxicos recurrentes en caso de inhalación por parte de seres humanos o de animales.

Los peligros que presenta el amoníaco, que han hecho que sea clasificado como sustancia peligrosa (y no como veneno), son bien conocidos por los profesionales, que han desarrollado las medidas de seguridad apropiadas para ser tomadas en caso de fuga accidental.

Finalmente, hay que señalar que dado que la circulación del amoníaco en una planta frigorífica funcionando normalmente está completamente confinada, el riesgo de combustión o explosión es nulo, incluso si entra algo de aire en el sistema. La entrada de aire iría acompañada necesariamente de un escape de amoníaco, cuyo olor sería detectado inmediatamente incluso con una concentración en el aire tan baja como 5 ppm. En el mundo hay actualmente miles de instalaciones de almacenes frigoríficos de gran volumen que funcionan con amoníaco y que se usan para el almacenamiento de productos perecederos; dichas instalaciones han demostrado soportar bien el paso de los años, incluso en áreas relativamente densamente pobladas.

4 - EL AMONÍACO Y EL MEDIO AMBIENTE

El amoníaco no tiene efecto alguno sobre el medio ambiente de la Tierra:

- El vapor de amoníaco es casi el doble de ligero que el aire; en casos de emisión al ambiente, se dispersa rápidamente en la atmósfera, donde se descompone al cabo de pocos días.

- En caso de producirse vertidos líquidos, el amoníaco se evapora casi inmediatamente, dado que su punto de ebullición a presión atmosférica es de -30°C ; así, no hay riesgo de contaminación del agua de superficie o del agua subterránea.
- El amoníaco no tiene efecto sobre el ozono estratosférico, dado que está completamente hidrogenado y no contiene átomos de cloro ni de bromo.
- Dado que no produce efecto invernadero, las emisiones de amoníaco no contribuyen al calentamiento del planeta.

CONCLUSIONES

Las ventajas tecnológicas y económicas que presenta el amoníaco como refrigerante han quedado confirmadas muchas veces en la práctica diaria.

Por otro lado, razones técnicas impiden la sustitución directa de un refrigerante halogenado por el amoníaco. Por ejemplo, el cobre y sus aleaciones, usado en máquinas trabajando con CFCs y HCFCs, no pueden usarse en sistemas de amoníaco. Por razones de seguridad, en el acondicionamiento de aire de locales es necesario un sistema intermedio con fluido secundario cuando se usa un equipo de amoníaco.

Más aún, el desarrollo industrial de nuevos compresores de mediana y pequeña potencia que funcionan eficazmente en términos de energía y coste, y el desarrollo de equipos económicamente competitivos antes reservados a máquinas de fluido halogenado, requerirán meses e incluso varios años, dependiendo del tipo de equipo y de las condiciones de trabajo especificadas.

Por tanto, el Instituto Internacional del Frío recomienda insistentemente a las personas con poder de decisión para que requieran de laboratorios nacionales y de compañías industriales el desarrollo de nuevos sistemas frigoríficos con amoníaco, de forma que se pueda ampliar el campo de utilización de estas unidades con garantías de seguridad y rentabilidad financiera.

7ª NOTA INFORMATIVA SOBRE CFCS Y REFRIGERACIÓN

Junio, 1991

Las decisiones adoptadas en la Conferencia de Londres por los países firmantes del Protocolo de Montreal disponen el fin de la producción de clorofluorocarburos totalmente halogenados para finales de la década actual, especialmente los fluidos usados como frigorígenos en equipos frigoríficos y de acondicionamiento de aire. Aunque no se han impuesto restricciones a la producción de hidroc fluorocarburos esenciales, tales como el R22, la producción de los otros irá reduciéndose paulatinamente hasta el año 2.040 en deberá cesar la producción, con el deseo de adelantar esta fecha. Finalmente, algunos gobiernos han considerado tomar medidas locales que serían más restrictivas que las adoptadas a nivel internacional en Londres.

Además del peligro de la disminución de la capa de ozono debido a compuestos clorados y bromados, el calentamiento global, debido al efecto invernadero, parece ser otro riesgo muy grave para el futuro de la humanidad. Este último se ve agravado en especial por emisiones de ciertos gases industriales (CO₂, metano, ozono, compuestos nitrosos y nítricos, fluidos halogenados, etc.). A finales de 1990 tuvo lugar en Ginebra una conferencia en la que se examinó la cantidad de emisiones mundiales de CO₂. Parece muy probable que, a nivel internacional, se adopten medidas restrictivas para limitar las emisiones de los diversos gases productores del efecto invernadero, incluidos el R22 y los sustitutos del R11, R12 y otros CFCs. Estos sustitutos, que son derivados de metano y etano, tienen un potencial de calentamiento global miles de veces superior al de CO₂. Es necesario buscar nuevos frigorígenos con bajos potenciales de calentamiento global, y esto llevará un tiempo extra.

A pesar de la aparente urgencia en adoptar medidas para preservar el medio ambiente del planeta, el calendario para aplicar estas medidas debe, obviamente, reconocer la necesi-

dad de mantener en servicio las máquinas frigoríficas que forman la CADENA DEL FRIO. Además, se ha de ser consciente del tiempo necesario para el estudio, desarrollo industrial y comercialización de los refrigerantes de sustitución, así como de la fabricación en serie de nuevos equipos frigoríficos; y también para la formación del personal, especialmente la de montadores y mecánicos frigoristas que aseguren la instalación, mantenimiento y reparación de los equipos.

Dado que la producción del R11, R12 y otros fluidos clorados y totalmente halogenados terminará pronto, es urgente que se tomen medidas tan rápidamente como sea posible para ampliar la duración del servicio de las instalaciones que funcionan con dichos fluidos más allá del año 2.000.

El propósito de esta nota es dar información sobre:

- el estado de las investigaciones realizadas sobre refrigerantes sustitutos de CFC, y el calendario estimado para su producción comercial.
- formas de recuperar y reciclar fluidos halogenados.

FRIGORÍGENOS DE SUSTITUCIÓN

Cualquier nuevo refrigerante, antes de ser producido industrialmente, ha de someterse a un programa de estudio para determinar:

- sus características toxicológicas
- sus propiedades termodinámicas
- su eficacia energética
- sus propiedades termofísicas (de transmisión de calor y de masa) y otras propiedades físicas
- su comportamiento químico con los componentes del circuito, aceites lubricantes y materiales aislantes

Cuando parece que un fluido es apto para ser usado como refrigerante, conviene adaptar las características de los componentes de la máquina a las propiedades del nuevo fluido. El que una misma máquina tenga el mismo rendimiento con dos refrigerantes distintos es, ciertamente, una excepción, incluso si su composición química es muy similar. Un buen ejemplo es el

R12 y el R22: su estructura molecular difiere por la sustitución de un átomo de cloro en lugar de un átomo de hidrógeno; pero sus características térmicas y termodinámicas y su efecto sobre el medio ambiente son muy diferentes. En la práctica, los fabricantes precisan varios años para el desarrollo industrial de componentes de un sistema de refrigeración y este plazo no puede ser acortado, aún cuando solo sea por la necesidad de someter los prototipos y las primeras unidades fabricadas a los ensayos de comportamiento, fiabilidad, duración y robustez.

Finalmente, incluso si la investigación sobre los fluidos y el desarrollo de las máquinas se hacen simultáneamente, habrá una demora de unos 10 años entre la selección y la comercialización por la industria del nuevo fluido.

Con respecto a los sustitutos para los dos fluidos principales reglamentados por el Protocolo de Montreal, se estima que el calendario para completar el programa de investigación en laboratorio y en banco de pruebas ha de ser como sigue:

- R134a (sustituto para R12) :mediados de 1994
- R123 (sustituto para R11) :finales de 1993
- R134 (sustituto para R11 y R12) :finales de 1996

Se podrían multiplicar los ejemplos mostrando que, para muchos sustitutos, el plazo de investigación va más allá del año 1996.

La producción industrial de un fluido comienza a menudo antes de que se haya completado la fase experimental. Por ejemplo, el R134a, primer sustituto propuesto para el R12, se ha lanzado al mercado a finales de 1990; su producción continuará hasta 1995 según las empresas químicas. Otros fluidos, sin embargo, tienen su comercialización prevista para un futuro inmediato, de aquí a 1995. Para otros todavía no se ha anunciado ninguna fecha de producción.

Se comprende que la decisión de comenzar el estudio de un sustituto comporte un riesgo industrial, pues debido a esos largos plazos podrían suceder muchos acontecimientos técnicos, económicos o políticos que cuestionasen lo acertado de tal decisión. Además, los costes de desarrollar un sustituto son cuan-

tiosos. Solamente la evaluación toxicológica del R134a, por ejemplo, está costando unos 4,5 - 5 millones de \$ USA, y el coste de una planta que produzca el nuevo frigorígeno puede alcanzar los 150 millones de \$ USA

Considerando el estado actual y el continuo desarrollo de los componentes de frigoríficos, será bastante difícil detener la producción de CFCs mucho antes de la fecha acordada por las Partes del Protocolo de Montreal presentes en la reunión de Londres en 1990, a menos que acelere la práctica de la recuperación y reciclado

Además, el R22 (HCFC22) sigue siendo el único fluido disponible –a costa de realizar algunas modificaciones– para reemplazar los fluidos totalmente halogenados (CFCs).

RECUPERACIÓN Y RECICLADO

Fabricar nuevos equipos para que sean compatible con los fluidos de sustitución no resuelve el problema económico que presenta un equipo que no se ha amortizado totalmente cuando cese la producción de CFCs (*) y cuyo valor a nivel mundial excede probablemente de varios billones de dólares. Asegurar el mantenimiento y las reparaciones de dicho equipo más allá de dicha fecha exigirá disponer de frigorígeno que deberá proceder de la recuperación y reciclaje de fluidos actualmente en uso.

Las técnicas usadas en la recuperación de dichos fluidos es simple, pero ha de ser dominada. Requiere un equipo de vaciado especial (incluyendo una bomba, válvulas, etc.), así como una organización que recoja las botellas de fluido recuperado y que tenga medios para analizar y purificar los fluidos de forma a volverlos a poner en el mercado con la misma calidad química que la del frigorígeno original.

La recuperación de un frigorígeno no está asociada generalmente con la tecnología frigorífica. Es más costoso que el procedimiento convencional de liberar el fluido a la atmósfera. Pero contribuir a la protección del medio ambiente no sólo es un acto cívico, sino que va también en beneficio del interés general.

Si la recuperación y reciclaje de los refrigerantes ha de ser eficaz no puede basarse solamente en la iniciativa privada; es decir, debe haber alguna ayuda gubernamental:

- para promover la enseñanza de técnicas no contaminantes tanto en escuelas (formación inicial) como en cursos breves para los que estén ya trabajando (formación profesional)
- para facilitar la adquisición de equipo especial de recuperación a los instaladores y mantenedores frigoríficos.
- para adoptar reglamentos que sean a la vez de obligado cumplimiento y flexibles, de forma que los propietarios, mantenedores y reparadores de instalaciones puedan observar meticulosamente los procedimientos de recuperación.
- para animar a la industria química a organizar un sistema de recogida y purificación de los fluidos usados.

La importancia técnica y social de la recuperación y el reciclado se justifica así:

- El consumo anual medio de fluidos nuevos o regenerados necesario para mantener operativo los equipos frigoríficos de un determinado país está cercano al 10% de la carga total de ese parque; este consumo corresponde a las emisiones al ambiente debidas a fugas y a operaciones de mantenimiento.
- Con el procedimiento de recuperación-reciclado se podría hacer bajar el consumo anual del 10% al 3% de la carga total, suponiendo que los escapes fueran insignificantes. Cuando se trabaja con el equipo hay pérdidas que ocurren inevitablemente durante el vaciado y reciclado; la cantidad de fluido regenerado es, por tanto, aproximadamente el 70% de la carga recuperada del equipo.
- Si el momento del cese de fabricación de CFCs la cantidad de fluido contenida todavía en los equipos en uso fuera M , n años más tarde la cantidad de fluido aún disponible sería $0,90nM$ sin recuperación, y $0,97nM$ con recuperación. Después de cinco años, la cantidad total aún disponible en el primer caso habría disminuido en un 40%; en el segundo caso, el total habría disminuido sólo en un 15%. Sin recuperación, la mitad de la cantidad se perdería en menos de 7 años; con recuperación ésto llevaría más de 20 años.

Estas son cifras aproximadas y se toman probablemente con criterio optimista, ya que no tienen en cuenta las fugas. No obstante, las cifras muestran claramente hasta que punto una atención continuada sobre la hermeticidad de los circuitos, el mantenimiento preventivo, y la recuperación-reciclado (cuando se hacen meticulosamente) puede tener efecto sobre la duración del servicio de las instalaciones de compresión de CFCs tras haber cesado la producción de éstos.

El Instituto Internacional del Frío alerta por ello a los Gobiernos sobre la importancia de la recuperación y el reciclado de los frigorígenos usados, y sobre la urgencia de adoptar las medidas necesarias para poner en práctica dichas operaciones.

8ª NOTA INFORMATIVA SOBRE CFCS Y REFRIGERACIÓN

Agosto, 1992

IMPACTO AMBIENTAL DE LAS MOLECULAS USADAS COMO FRIGORÍGENOS

El Protocolo de Montreal volverá a ser revisado en Copenhague, en Noviembre de 1992. La industria del frío es solamente uno de los sectores que usan sustancias que agotan la capa de ozono. Sin embargo, las decisiones que serán tomadas en Copenhague son muy importantes para el futuro de la refrigeración. Ciertamente, el desarrollo y bienestar humano están ligados en muchos sentidos a la refrigeración.

El IIF suministra información a través de su banco de datos FRI-DOC y de su Boletín, publicando cerca de 3.000 documentos por año. El IIF ayuda también a los funcionarios gubernamentales mediante el Informe de Opciones Técnicas sobre Refrigeración que la UNEP ha enviado a todos los gobiernos con vistas al encuentro de Copenhague. El IIF tiene la obligación de recordar a aquellos que pueden tomar parte en los debates de Copenhague cuáles pueden ser las consecuencias de sus decisiones con respecto a la refrigeración, destacando algunos aspectos fundamentales.

I. Efectos de estas moléculas sobre el Medio Ambiente

Estos efectos pueden caracterizarse mediante 7 criterios principales agrupados en 5 sectores, de la forma siguiente:

- Toxicidad para personas y animales, lo que incluye:
 - toxicidad aguda,
 - toxicidad crónica, incluido efectos genéticos
- Inflamabilidad y explosividad
- Efecto sobre la capa de ozono
- Efecto sobre el calentamiento global, incluido:
 - Efecto directo de la propia molécula
 - Efecto indirecto debido a la emisión de CO₂ ligado a la producción y utilización de la sustancia
 - Olores

Cuando se introdujeron los CFCs a mediados de los años treinta, se afirmó que eran el refrigerante ideal: poseían muchas propiedades interesantes y no presentaban ningún efecto negativo conocido. Más aún, no eran tóxicos ni inflamables. Actualmente hay una gran preocupación por el efecto de los CFCs sobre la atmósfera, incluido el agotamiento de la capa de ozono, así como el impacto sobre el calentamiento global. La tabla siguiente muestra los valores relativos (tomando el CFC11 como base) del Potencial de Reducción de Ozono (ODP) y del factor de Potencial de Calentamiento Global Directo (GWP) para el CFC11, el CFC12 y algunos de los sustitutos más frecuentemente estudiados. La tabla da también información sobre toxicidad e inflamabilidad.

	CFC 11	CFC 12	HCFC 22	HCFC 142b
ODP	1	1.0	0,05	0,06
GWP(1)	1	2.1	0,43	0,46
Toxicidad	no	no	no	(no)**
Inflamabilidad	no	no	no	si
	HFC 32	HFC 125	HFC 134a	HFC 152a
ODP	0	0	0	0
GWP(1)	(0,14)	0,71	0,34	0,04
Toxicidad	(no)*	no	no	no
Inflamabilidad	si***	no	no	si***
	Amoníaco	Propano	Butano	Agua
ODP	0	0	0	0
GWP(1)	0	0	0	0
Toxicidad	si	no	no	no
Inflamabilidad	si***	si	si	no

*: PAFT V (Programa para Ensayo de Toxicidad de las Alternativas a los Fluorocarburos)

** : No está completamente evaluado

***: Inflamable sólo en un margen pequeño de concentraciones

(1) El GWT depende del Horizonte Temporal de Integración (ITH): en esta tabla el ITH es 100 años, tal como se escoge generalmente.

Fuente: Informe de Opciones Técnicas, Tomo "Refrigeración" IIF/UNEP, preparado para la Conferencia de Copenhague.

Nota: Estas cifras toman como base el CFC11. Comparado con el CO₂, el CFC11 tiene un GWP (100 años) de 4.500. Hay que recordar que el CO₂ se desprende inmediatamente a través de la combustión, mientras que la molécula de un refrigerante es probable que permanezca en los equipos frigoríficos durante 15 años o más, y al menos unos pocos años en los sistemas de acondicionamiento de aire de un automóvil.

II. ¿Por qué se usan industrialmente estas moléculas?

En la actualidad, estas moléculas se usan en cuatro campos distintos de aplicación. Estas aplicaciones exigen de los refrigerantes ciertas propiedades físicas y termodinámicas, además de las que exige el medio ambiente. Estos requisitos incluyen, pero no se limitan a, las siguientes propiedades:

- 1/ Vaporización (propulsor para aerosoles):
 - presión de vapor y temperatura de ebullición,
- 2/ Fluido de limpieza (uso doméstico e industrial):
 - presión de vapor,
 - acción disolvente con aceites y grasas,
- 3/ Agente espumante de aislantes (incluido espumas aislantes rígidas):
 - baja conductividad térmica
 - valores adecuados de la presión de vapor
 - difusividad dependiente del tamaño de la molécula.
- 4/ Aplicación como refrigerante:
 - presión de vapor,
 - calor latente de vaporización,
 - calor específico,
 - conductividad térmica,
 - viscosidad,
 - tensión superficial,
 - solubilidad en lubricantes,
 - corrosividad.

Al margen de estas propiedades ligadas a cada una de las distintas aplicaciones, el coste del fluido es todavía un factor

predominante a la hora de su selección. Adviértase que la aplicación en refrigeración tiene la relación más extensa de propiedades exigidas.

Consecuentemente, las consideraciones medioambientales y económicas requieren que se examinen con especial atención los CFCs usados en refrigeración.

III. Recuperación y reciclado

Otra diferencia muy importante en las diversas aplicaciones antes mencionadas es la posibilidad de reciclar los fluidos usados y reducir considerablemente sus emisiones. En este sentido, las ventajas de la refrigeración son evidentes.

No es la producción de CFCs lo que destruye la capa de ozono, sino la emisión de estos fluidos a la atmósfera. Obviamente, la recuperación no es aplicable a los aerosoles. En la mayoría de los procesos de limpieza en seco, la recuperación de un fluido solo es posible si está confinado en un espacio de trabajo cuidadosamente controlado. Por lo tanto, la mayor probabilidad de recuperar el fluido está en las aplicaciones de refrigeración.

Adoptando procedimientos más eficaces para recuperar frigerígenos, es posible lograr considerables reducciones de las emisiones. Esto es relativamente barato y se beneficiarán por igual proveedores y usuarios. Así, en un futuro próximo, una forma eficaz de reducir la emisión de frigerígenos es animar a los técnicos a ser más cuidadosos en la ejecución y en el mantenimiento de las instalaciones.

En lo referente al diseño, hay que desarrollar sistemas que necesiten menor cantidad de frigerígeno. Este aspecto del diseño no parece exigir mucho trabajo adicional de investigación. No obstante, el desarrollo de mejores herramientas para el mantenimiento es un área donde pueden esperarse resultados fructíferos.

También conviene mejorar las técnicas de purificación de frigerígenos recuperados y diseñar rutinas de mantenimiento con pérdidas mínimas.

Estas acciones son aplicables tanto a los nuevos frigorigenos como a los CFCs (ver Nota Informativa nº 6 del IIF).

IV. Otros frigorigenos y nuevos ciclos y sistemas

A medio o largo plazo la sustitución de los CFCs, inaceptables desde el punto de vista del medio ambiente, por otros frigorigenos conocidos o enteramente nuevos, irá acompañada de la puesta a punto de nuevos ciclos y/o sistemas.

a/ Amoníaco, agua y otras sustancias no orgánicas usadas como frigorigenos

El amoníaco es un frigorigeno clásico que se ha utilizado profusamente. Es el frigorigeno más usado en grandes instalaciones industriales, en la industria alimentaria y en importantes complejos deportivos. El amoníaco es explosivo dentro de ciertos límites de concentración. Un grave problema en el uso del amoníaco para bombas de calor domésticas y en sistemas de acondicionamiento de aire es su toxicidad. No obstante, su olor característico fácilmente reconocible proporciona un aviso inmediato. Esto último puede causar también reacciones de pánico en personas no avisadas (ver Nota Informativa nº 7 del IIF).

El desarrollo de nuevos diseños puede aumentar el número de aplicaciones en las que se puede emplear amoníaco. Nuevos diseños darán también como resultado una disminución de la cantidad de frigorigeno cargado en el sistema. En algunos casos, habrán de redactarse normas para regular estas nuevas aplicaciones. Estas son áreas de investigación y desarrollo (I+D) que han de recibir una gran prioridad en el futuro.

Se puede usar el agua como frigorigeno sólo en aquellas aplicaciones de acondicionamiento de aire que requieren un nivel de temperatura alto, como grandes instalaciones para minas, complejos deportivos, etc. Actualmente se están realizando trabajos en este sentido.

b/ Fluidos orgánicos como sustitutos de los CFCs

Este grupo de frigorigenos incluye muchas sustancias, pero sólo unas pocas de ellas cumplen los requisitos prescritos.

- Fluidos combustibles como el butano y el propano casi no se usan actualmente, salvo en la industria de las muy bajas temperaturas. Aparte de eso, el uso de estos fluidos es en algunos aspectos similar al del amoníaco: es concebible usarlos en algunas aplicaciones sin correr grave peligro, pero será necesario desarrollar nuevos sistemas y reglamentos. Quizás el obstáculo más difícil de vencer sea educar al personal de mantenimiento para que efectúe un mantenimiento sin riesgo.

En el grupo de compuestos HCFC, el HCFC22 tiene propiedades termodinámicas atractivas aunque requiera presiones más altas y potencias distintas que las de un sistema con CFC12 que trabaje a las mismas temperaturas. Sustituir el HCFC22 parece mucho más difícil (especialmente para aplicaciones de baja temperatura como alimentos congelados) que sustituir al CFC12. Esto es probablemente menos importante a la vista de los valores relativos de ODP y GWP para el HCFC22 (ver tabla 1). Es una sustancia bien conocida y ha estado en uso durante muchos años.

- Los refrigerantes HFC HFC152a y HFC134a proporcionan presiones y potencias muy similares a las que se obtienen con el refrigerante CFC12. El HFC152a es un excelente refrigerante; su principal inconveniente (aparte del coste) es su inflamabilidad en un margen limitado de concentración en el aire (3,9 - 16,9 % por volumen). El HFC134a requiere nuevos tipos de aceite para la lubricación del compresor. Es necesario un esfuerzo continuado de Investigación y Desarrollo no sólo para estudiar los problemas potenciales, sino también para aprender a usar más eficazmente estos refrigerantes y aumentar además la experiencia en su manipulación.

Al igual que el amoníaco, el HFC32 refrigerante no clorado puede ofrecer ventajas. Aún se requiere un considerable esfuerzo de investigación sobre este fluido en lo referente a propiedades termodinámicas, lubricantes apropiados, compatibilidad de materiales y toxicidad.

Otro tema de investigación de considerable importancia es el desarrollo de mezclas refrigerantes no azeotrópicas. Dichas

mezclas proporcionan interesantes propiedades para ciclos con deslizamiento de temperatura aptos para diferentes aplicaciones. Estos desarrollos resultan prometedores pero se necesita tiempo hasta conseguir los datos y el conocimiento necesarios que lleven a sistemas frigoríficos seguros y fiables.

c/ Sistemas de absorción

La refrigeración por absorción es una tecnología bien desarrollada en áreas como acondicionamiento de aire, utilizando agua como refrigerante y una solución LiBr como disolvente. Para temperaturas por debajo del punto de congelación, los sistemas de absorción usan amoníaco como refrigerante y agua como disolvente. Este último sistema puede ser eficaz en términos energéticos si la regeneración utiliza calor residual. No obstante, el uso de energía primaria con fines regenerativos precisa el desarrollo de nuevos ciclos de absorción con rendimientos mucho más altos que los actuales. Aún es necesario un considerable trabajo de investigación, no sólo sobre nuevos ciclos, sino también sobre fluidos de trabajo alternativos, por ejemplo, los que permitan el uso de fuentes de energía tales como la energía solar.

d/ Otros ciclos y sistemas

A lo largo de los años se han propuesto y analizado muchos ciclos diferentes. Varios de ellos tienen algunas características que les hacen interesantes para diversas aplicaciones especiales. Parecidos a la absorción, los sistemas que emplean una reacción química parecen ser prometedores. Otro ejemplo de aplicación especializada es el uso de semiconductores eléctricos dispuestos como elementos Peltier, lo que constituye un sistema de enfriamiento sin partes móviles. No obstante, los materiales disponibles en la actualidad proporcionan sistemas que tienen rendimientos considerablemente por debajo de los de los ciclos convencionales. Sin embargo, la refrigeración Peltier tiene aún interés para aplicaciones especiales. Otro ejemplo es el uso del ciclo Stirling con helio como fluido de trabajo. Para aplicaciones que requieren grandes diferencias de

temperatura, como las criogénicas, éste es un ciclo excelente. No obstante, para pequeñas diferencias de temperatura, los ciclos convencionales siguen siendo la mejor opción. En varios laboratorios en todo el mundo se está realizando investigación y desarrollo sobre este campo. Similares conclusiones pueden extraerse de los ciclos de aire. Investigación y desarrollo dedicados a estos ciclos y mejoras en los componentes pueden proporcionar adelantos para ciertas aplicaciones, en el futuro.

CONCLUSIONES

Obviamente, no podemos desarrollar sustitutos para los CFCs que sean perjudiciales para los seres humanos o tengan impactos medioambientales perjudiciales, por ejemplo, al requerir más energía que los CFCs sustituidos. Además de los esfuerzos tecnológicos antes estudiados, es importante que "el mundo del frío" participe activamente en la evaluación de las consecuencias del uso de procesos alternativas sobre la capa de ozono y el efecto invernadero - así como el consumo de los recursos de combustible agotables del mundo.

Encontrar soluciones fiables y eficaces en términos de coste y energía seguirá siendo un reto para los científicos y compañías de refrigeración. Directamente o a través de sus miembros, el IIF ha ayudado ya a desarrollar soluciones de emergencia, así como a organizar cursos y seminarios. Los países miembros, miembros asociados y todos los interesados con el medio ambiente son bienvenidos a la hora de unirse a estos esfuerzos y afrontar el nuevo reto.

9ª NOTA INFORMATIVA SOBRE CFCs, REFRIGERACIÓN Y HCFCs

Julio, 1993

¿SUSTITUIR EL R22? ¿CÓMO Y CUÁNDO?

En un esfuerzo por encontrar sustitutos antes de la inminente desaparición paulatina de los CFCs, un grupo de frigorígenos - HCFCs y R22 en especial - han demostrado ser buenas alternativas en muchos casos. Ahora incluso se les considera sustitutos de transición insoslayables.

Debido al cloro que todavía contienen los HCFCs, las Partes del Protocolo de Montreal votaron en su reunión de Copenhague del pasado noviembre dejar de comercializar escalonadamente los HCFCs hasta su desaparición en el año 2.030. Se prevé un importante aumento temporal destinado a facilitar la desaparición anterior de los CFCs. Esto está relacionado con el tiempo necesario para sustituir los equipos y para el desarrollo y pruebas de los nuevos productos. Todo el mundo está de acuerdo en su papel esencial como fluidos de transición.

Pero algunos países han decidido ya, o lo están considerando, una eliminación paulatina incluso antes de lo acordado en Copenhague, no sólo para los CFCs sino también para los HCFCs, que son necesarios cuando desaparezcan los CFCs.

Esta acción presenta serias reservas sobre el uso del R22 como fluido de transición, y fabricantes y funcionarios gubernamentales se preguntan qué es necesario hacer ahora y en el futuro. El propósito de esta nota es ayudarles a tomar tales decisiones.

I. El R22 y otros sustitutos de los CFCs

Se ha recopilado una gran cantidad de información sobre sustitutos de los CFCs, tanto de los que ya han sido ensayados como de los que están en fase experimental o presentan características prometedoras (una buena parte de esta documentación está disponible en la biblioteca del IIF y en su base de datos).

En cualquier estudio detallado sobre sustitutos de CFCs debe hacerse una distinción entre sustitutos a largo plazo y fluidos de transición, y entre las instalaciones reconvertidas y las nuevas. Dicho esto, a continuación se expone un breve resumen de posibles sustitutos de los CFCs:

- Los HFCs no contienen cloro ni bromo y se consideran sustitutos "ideales" (de forma similar a como lo fueron los CFCs en los años 50). Pero sólo algunos HFCs - por ejemplo, R134a, R125 y R23 - carecen de problemas de inflamabilidad o toxicidad. El R134a ha pasado ya todas las pruebas de toxicidad; las pruebas para el R125 están a punto de completarse.

El R134a ha comenzado a sustituir al R12 en los frigoríficos domésticos, transporte frigorífico, acondicionamiento de aire de automóviles, así como en algunos enfriadores de agua (mientras que el R123 sustituye al R11).

Se han resuelto la mayoría de sus problemas de compatibilidad con lubricantes, pero no puede usarse en todas las aplicaciones que tenían los CFCs por dos razones principales:

- Las propiedades termofísicas del R134a hacen que sea difícil de usar en refrigeración a baja temperatura (especialmente por debajo de -25°C , en equipos de congelación de alimentos, por ejemplo).
- La higroscopicidad del aceite hace que sea difícil (pero no imposible) usarlo en climas húmedos y cálidos.
- Se están lanzando al mercado cada vez más mezclas de HFCs, aunque la mayoría de las ya ensayadas contienen HCFCs.
- El amoníaco se ha empleado como frigorígeno durante largo tiempo y, sin duda, jugará un gran papel en el futuro. En algunos casos, como en los enfriadores de agua para acondicionamiento de aire, el uso del amoníaco es aún la única alternativa disponible a nivel general (salvo para sistemas de absorción que utilizan agua/LiBr). Pero su explosividad, toxicidad y el pánico a que puede dar lugar en caso de escape limitará su uso en muchas áreas, aunque tiene un olor tan fuerte que puede ser detectado por los humanos cuando su

concentración es de aproximadamente el 1% del límite de toxicidad (ver Nota Informativa nº 7 del IIF).

- Aunque se usan todavía de forma muy limitada, citemos también:
 - hidrocarburos (propano, butano, pentano): pueden servir como sustitutos en muchos casos. Pero su inflamabilidad restringirá su atractivo de cara al mercado, al menos en la actualidad.
 - agua, aire y CO₂: son prometedores en ciertos casos, pero para la mayoría de las aplicaciones en refrigeración primero debe mejorarse el rendimiento energético de los sistemas que los usan.
 - sistemas de sorción avanzados (por ejemplo, sistemas de absorción en dos etapas, compresión-absorción, sorción química, adsorción, etc)
- Los HCFCs han sido considerados como unos de los mejores sustitutos de transición para los CFCs.

Sucede a menudo que las soluciones antes mencionadas no se usan, debido a sus desventajas o simplemente porque no son aplicables. En estos casos, los HCFCs (especialmente el R22 y, hasta cierto punto, el R123) son a menudo los más eficaces o incluso las únicas sustancias fiables disponibles actualmente que podrían servir posiblemente como sustitutos del CFC.

Por ejemplo, el R22 usado en un sistema de compresión de vapor en dos etapas puede sustituir al R502, incluso para aplicaciones a baja temperatura relacionadas con alimentos congelados y se ha usado largo tiempo en muchos sectores de la refrigeración industrial.

II. ¿Alternativas a los HCFCs?

Ahora bien, si realmente se deben empezar a eliminar paulatinamente los HCFCs, ¿cómo han de acometer esto los gobernantes y fabricantes?

La nota informativa anterior (8ª) mostró las propiedades que ha de tener una sustancia a fin de calificarse como un refrigerante aceptable. Esto limita el número de posibles sustitutos.

Quitar de la lista a los HCFCs complica aún más el problema. Las alternativas a los HCFCs, incluido el R22, han de encontrarse entre los sustitutos a los CFCs, enumerados en párrafos anteriores.

En dicha lista se vé que no existe un solo sustituto del R22 que no presente alguna desventaja:

Casi todos los frigorígenos con Potencial de Destrucción de Ozono nulo son cuanto menos ligeramente inflamables o tóxicos y/o tienen un efecto de calentamiento de la Tierra no nulo. La 8ª Nota informativa aporta datos sobre ésto (los datos de GWP proporcionados en esa nota y en el comentario siguiente, son con relación al R11 y con un Horizonte Temporal de Integración de 100 años).

Habrá, de hecho, un inevitable compromiso entre:

- reducción del ozono (ODP)
 - calentamiento global (GWP)
 - inflamabilidad
 - toxicidad
- El único frigorígeno conocido que no parece tener ninguno de los riesgos citados es el agua.
El agua juega un papel importante en el efecto invernadero. No obstante, se considera que el vapor de agua liberado a la atmósfera por la actividad humana no tiene influencia sobre el equilibrio global del agua en planeta. Así, no se puede atribuir ningún valor de GWP al vapor de agua. Pero sólo puede usarse el agua como frigorígeno a temperaturas altas similares a las que predominan en las minas, en grandes instalaciones o en circuitos abiertos para producción de hielo. Otras aplicaciones, aún cuando técnicamente posibles, consumirían una energía adicional y resultarían caras.
 - Las mezclas son una solución prometedora. Al presentar el programa "AREP", el ARI propuso una lista de 10 candidatos para sustituir al R22 - siete de éstos son mezclas de dos, tres, o cuatro componentes. Algunas de estas mezclas están siendo desarrolladas rápidamente, aunque algunas incluyen

componentes inflamables. La mezcla de frigorígenos puede frecuentemente reducir su inflamabilidad, pero no su GWP. Una vez más, se ha llegado a un compromiso.

- El R134a puede sustituir al R22 en algunas aplicaciones, incluido enfriadores de agua.

Algunas personas han puesto objeciones a su desarrollo debido a su GWP, aunque es muy bajo: sólo 0,34. ¿Está justificada esta actitud?. Por supuesto que tienen que tomarse en consideración el efecto de calentamiento global directo e indirecto (ver apartado III.2, más adelante). Así, el R134a proporciona un buen ejemplo del necesario compromiso entre ODP y GWP.

- Sustituir el hidrógeno por flúor tiende a producir sustancias que son ligeramente inflamables (R32, R152a y R143) o muy inflamables, como el propano y el butano.

Este último, junto con el amoníaco, son sustancias naturales y excelentes frigorígenos. Su toxicidad/inflamabilidad no impide que se usen en aplicaciones domésticas, así como en aplicaciones industriales. Por supuesto, estas sustancias requieren un diseño de equipo de planta especial, adecuadas precauciones y una apropiada evaluación de riesgos. Cualquiera que sea la justificación, todos los reglamentos que dificulten el uso de estos sustitutos afectan al proceso de eliminación paulatina de los CFCs.

III. Recomendaciones para elegir sustitutos

No se puede pasar por alto ninguna de las desventajas antes mencionadas, y sin embargo, como se dijo anteriormente, debe hallarse un compromiso.

Los siguientes elementos pueden ayudar a las personas con poder de decisión a sopesar los diferentes criterios en la elección de sustitutos:

1) La "P" en "ODP" y en "GWP" se refiere al "potencial", y no al efecto "real"; en otras palabras, *el ODP y el GWP son relevantes sólo cuando, y sí, se liberan los frigorígenos en la atmósfera.* Consecuentemente, las medidas contra escapes y

emisiones del refrigerante, así como para el reciclaje, deben ser las primeras prioridades.

Sellar los sistemas y reciclar los refrigerantes puede reducir sensiblemente no sólo el impacto de calentamiento global y el riesgo de que se inflamen los refrigerantes, sino también su impacto de agotamiento de ozono (ver Nota Informativa nº 6 del IIF).

2) El GWP de un refrigerante no es el criterio apropiado cuando se juzga el impacto de un sistema frigorífico sobre el calentamiento de la Tierra, por varias razones. La razón principal es que en muchos países la mayoría del calentamiento global debido a los sistemas frigoríficos (incluido el acondicionamiento de aire) es debido al CO₂ liberado durante la producción de la electricidad que se requiere para su funcionamiento. Un criterio mucho mejor para un refrigerante en un determinado sistema es el TEWI (Impacto Total Equivalente de Calentamiento):

$$\text{TEWI} = \text{GWP} \times M + (\alpha) \times (B)$$

donde

GWP = GWP del fluido, con relación al CO₂ (GWP CO₂=1)

M = masa total del refrigerante liberado (kg)

α = cantidad de CO₂ liberada al generar electricidad (kg CO₂/kWh)

B = consumo energético del sistema durante su vida (kWh)

El TEWI depende directamente de:

- cómo se produce la electricidad: por ejemplo: si toda la energía es de origen hidráulico, $\alpha = 0$
- si la energía eléctrica proviene de combustibles fósiles, α es aproximadamente 0,8 kg. CO₂/kWh (dependiendo de la central térmica)

Así, α varía de una zona a otra. (La preocupación por el calentamiento global debería influir en la inversión nacional en la estrategia de generación de energía).

- Rendimiento de las instalaciones. El rendimiento puede variar sensiblemente, dependiendo del refrigerante que se use, pero en los actuales frigoríficos domésticos cuando la energía se basa en combustible fósil y el frigorífico tiene una duración

de servicio de 15 años, el impacto proporcional sobre el efecto invernadero sería:

- Impacto de Calentamiento Global directo = 1%
- Impacto de Calentamiento Global indirecto = 99%

Por ejemplo, un frigorígeno que requiera un 5% más de energía requerirá un consumo extra de energía de casi 5 veces el Impacto de Calentamiento Global directo que se tendría si se liberase el frigorígeno a la atmósfera.

El Impacto de Calentamiento Global indirecto en condiciones prácticas depende de muchos factores; de hecho, las comparaciones requieren un considerable conocimiento sobre el rendimiento y fugas de las plantas existentes.

3) Identificar y desarrollar una nueva tecnología. Conforme se dediquen más recursos a investigación y desarrollo, se alcanzarán más pronto posibles soluciones. Pero:

- algunos programas de investigación requerirán un período de desarrollo mínimo (por ejemplo, evaluación de toxicidad y efectos medioambientales a largo plazo)
- han de llevarse a cabo más estudios sobre las consecuencias de las soluciones técnicas, con el fin de ayudar a los responsables políticos a tomar decisiones.

CONCLUSIONES

Todos los gobiernos del mundo desean proteger el medio ambiente y fomentar el desarrollo económico. Al adoptar un calendario de eliminación paulatina de los HCFCs, deben tener presente las posibles repercusiones de sus decisiones:

- las posibles reducciones en el uso de la refrigeración, con las perturbaciones sociales y económicas que podrían resultar de ello.
- la eventual necesidad de derogaciones de última hora, con las perturbaciones económicas que traerán tales incertidumbres.

Así, habrá que elegir entre varios riesgos e inconvenientes. Dado que no hay ningún criterio común que agrupe los factores mediambientales, técnicos y socioeconómicos, la decisión se

convierte, en último término, en una decisión política. No obstante, es vital que se haga una evaluación que tenga en cuenta todos estos factores a menudo divergentes. Esto no es una batalla de voluntades entre un determinado sector industrial y defensores del medio ambiente; es un reto para todos nosotros que implica al medio ambiente, al suministro de alimentos, al desarrollo y bienestar económicos y a la seguridad en el puesto de trabajo. El compromiso es insoslayable si se quiere llegar a la mejor solución, en beneficio de todos.

10ª NOTA INFORMATIVA SOBRE CFCS, REFRIGERACIÓN Y HCFCs

Junio, 1994

MEZCLAS FRIGORÍGENAS

La primera solución que ha adoptado la industria frigorífica para colmar el vacío resultante de la eliminación de los más importantes CFCs (CFC-11 y CFC-12) ha sido desarrollar otros frigorígenos de componente único (HCFC-123 y HFC-134a) que tienen un potencial de destrucción de ozono muy bajo o nulo. Estas alternativas son muy tentadoras porque tienen perfiles presión-temperatura similares a los de los fluidos que reemplazan, y así su adopción requiere mínimos cambios de diseño en el equipo.

No obstante, no se ha desarrollado una alternativa de este tipo para el R-502 (mezcla de CFC-115 y HCFC22) o el HCFC-22. La industria, obligada a cumplir los plazos acordados internacionalmente, ha concentrado sus esfuerzos en investigar la utilización de mezclas como fluidos de trabajo en las instalaciones nuevas y, cuando es posible, como alternativas de sustitución inmediata ("drop-in") en los equipos existentes. En realidad, ningún frigorígeno sin cloro es realmente un drop-in, ya que se requiere, cuando menos, cambiar el lubricante.

A continuación (tabla 1) se relacionan las principales mezclas sin cloro que se consideran posibles alternativas para el R-22 y el R-502.

El IIF ha llamado la atención de los industriales y de las autoridades administrativas sobre:

- el uso del NH_3 como frigorígeno (6ª Nota Informativa),
- la necesidad de recuperación y reciclaje (7ª Nota Informativa),
- el impacto de las diferentes sustancias en el medio ambiente (8ª Nota Informativa),
- la necesidad de mantener el R-22 (9ª Nota Informativa)

Tabla 1: Ejemplos de Mezclas sin Cloro

	Posibles alternativas para HCFC-22	composición por peso (%)	Temp. Deslizamiento(1)	Nº
azeotropos	-	-	-	-
zeotropos inferior	HFC-32/125	(50/50)	<0,1°C	-
deslizamiento superior	-	-	-	-
	HFC-32/125/134a	(23/25/52) (30/10/60)	7,1°C 7,4°C	- -
	HFC-32/134a	(30/70)	7,4°C	R-407A

	Posibles alternativas para R-502	composición por peso (%)	Temp. Deslizamiento(1)	Nº
azeotropos	HFC-125/143a	50/50	0,0°C	R-507
zeotropos inferior	HFC-32/125/143a	(10/45/45)	0,5°C	
	HFC-125/143a/134a	(44/52/4)	0,8°C	R-404A
deslizamiento superior	HFC-32/125/134a (20/40/40)	(10/70/20)	4,1°C	R-407B
		6,4°C	R-407A	

(1) deslizamiento de temperatura = (temp. de rocío - temp. de burbuja) (ver § C), dado aquí a presión atmosférica, calculado con REFPROP 4.0.

En este momento parece importante dar información actualizada sobre las ventajas e inconvenientes de diferentes tipos de mezclas, e insistir sobre las consecuencias de su utilización.

A) Flexibilidad

Se puede modificar la composición de las mezclas para hacer que actúen de forma muy semejante a los CFCs Y HCFCs que reemplazan. Sin embargo, siempre es necesario llegar a compromisos:

Para los equipos existentes: es importante mantener en el sistema una potencia frigorífica similar a la obtenida con los CFCs. La composición de la mezcla debe ajustarse de forma que la presión de saturación a la temperatura de vaporización exigida sea similar a la del CFC que reemplaza.

No obstante:

- ha de limitarse la cantidad de componentes inflamables tales como HFCs 152a, 32, y 143a, y HCs 290, 600a, de forma que la mezcla no sea inflamable, incluso bajo las condiciones de fraccionamiento más severas, si llega este caso.
- otros factores, tales como la compatibilidad con un aceite mineral y/o con lubricantes alquilbenzénicos imponen también restricciones sobre la composición de las mezclas. Los problemas de compatibilidad con el lubricante son una de las principales razones por las que han sido necesarios los HCFCs, sólo o en mezclas, como sustancias de transición.

Para equipos nuevos: las mezclas sin cloro están pensadas, en su mayor parte, para equipos nuevos (debido a los problemas con el lubricante). Se han beneficiado de los estudios hechos sobre lubricantes (en especial sobre polialquil glicol y sobre ésteres de poliol) para permitir la utilización del HFC134a.

B) Disminución de la inflamabilidad

Algunas mezclas no inflamables pueden contener un componente inflamable. Para garantizar la seguridad en caso de fuga, basta con mantener la cantidad total de componentes inflamables en la mezcla por debajo del umbral de inflamabilidad al aire libre.

En algunos casos puede incluso excederse el nivel de este umbral, dado que se considera que algunos de los componentes no inflamables sin cloro tienen un efecto sofocante sobre la llama. El HFC-32 y el HFC-143a, que tienen propiedades termodinámicas bastante interesantes pero que son inflamables, pueden usarse en cantidades limitadas.

El problema de la inflamabilidad se ha complicado por la evolución de los protocolos de ensayo. Las diferentes interpretaciones de los resultados de la prueba han conducido a los japoneses a decidir que la mezcla HFC-32/134a (30/70% peso) es lo suficientemente segura para ser utilizada, decisión no compartida en los Estados Unidos. Es de esperar que los estudios sobre el protocolo y las condiciones de los ensayos conducirán a un acuerdo.

C) Efectos de las fugas y cambios de composición

Las mezclas pueden producir dificultades adicionales, especialmente en relación con fugas de refrigerante, controladas o accidentales, y con la operación de carga. Este punto ha dado lugar a importantes malentendidos. Para aclararlo es importante distinguir entre los dos casos siguientes:

La mayoría de las mezclas son "zeótropas" (del griego antiguo: "lo que cambia al hervir").

Con mezclas zeótropas, las composiciones de las fases vapor y líquida serán diferentes. Esta diferencia se alterará durante la vaporización y la condensación (deslizamiento). Por tanto, es importante controlar todas las fugas y la operación de carga, ya que cualquier cambio en la composición daría como resultado una disminución de la eficacia o un refrigerante inflamable. Es importante controlar las fugas y la carga "in situ".

El empleo de un tercer componente puede ayudar a atenuar la tendencia de la composición a situarse en la región inflamable de una de estas dos formas:

- adicionando al componente inflamable otros dos componentes, uno más volátil y otro menos. (HFC-125/143a/134a).
- adicionando una cantidad masiva de un componente no inflamable con un punto de ebullición similar al del componente inflamable, tal como en la mezcla HFC-32/125/134a.

Con las mezclas "azeotrópicas" (las que no se modifican al vaporizarse), los cambios de composición no presentan problemas, dado que las características termodinámicas de dichas mezclas son semejantes a las de un fluido puro. No obs-

tante, la composición azeotrópica puede variar al cambiar la presión; conforme aumenta la presión de trabajo, el punto azeotrópico variará en uno u otro sentido llegando a desaparecer. Así, una mezcla no es una composición azeotrópica más que en una parte del circuito frigorífico y los problemas antes mencionados, característicos de mezclas no azeotrópicas, pueden aparecer en el resto del circuito. Los azeótropos usados hasta ahora han tenido deslizamientos muy pequeños del punto azeotrópico, pero esto puede no ser necesariamente cierto para los nuevos en el futuro.

D) Eficacia

En teoría las mezclas, gracias a la gama de composiciones y de deslizamientos de temperatura que permiten, ofrecen la posibilidad de ahorrar energía y de controlar la potencia si el sistema mecánico está diseñado para aprovechar estas características del fluido de trabajo.

Cuando se usan como drops-in, no obstante, pueden hacer que se reduzca la eficacia del sistema, un fenómeno que se da habitualmente en los cambiadores de calor debido a falta de adecuación entre el deslizamiento y/o la disminución en la transmisión de calor del frigorígeno. La importancia de estos efectos depende en gran medida del diseño del sistema y de su aplicación.

Pequeñas alteraciones tales como el cambio de un serpentín interior de flujos a equicorriente en un acondicionador de aire de sistema partido a un serpentín de flujos a contracorriente, pueden ser suficientes para mejorar una mezcla poco interesante. Es misión de los proyectistas determinar qué cambios deben introducirse en el equipo para optimizar los sustitutos (requisitos de presión, equipo de control, etc.) y cuantificar su rentabilidad.

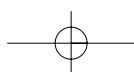
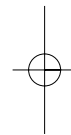
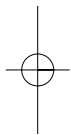
CONCLUSIÓN

Los trabajos recientes sobre mezclas parecen indicar que las mezclas binarias y ternarias serán la base de alternativas fiables para el R-22 y el R-502. No obstante, como se vió anteriormente, quedan todavía muchos problemas por resolver, así como muchos compromisos por encontrar, especialmente en las siguientes áreas:

- formación: muy pocos técnicos e ingenieros son capaces de manejar las mezclas,
- costes: coste del frigorígeno, del lubricante, y de los nuevos sistemas (por ejemplo: ¿se compensará la necesidad de mayor espesor de pared y de mejor hermeticidad exigidas para resistir las más altas presiones con una menor potencia volumétrica y/o con la posibilidad de un mayor rendimiento?
- eficacia energética en condiciones reales
- investigación/desarrollo,
- no inflamabilidad y evaluación de riesgos,
- reconversión (dado que las mezclas de HCFs se adaptan especialmente a los nuevos sistemas).

Una nota más completa, muy fácil de leer (redactada por D. DIDION), se ha publicado en el número 94-3 del Boletín del IIF. También se puede conseguir más información en el IIF y de los expertos del IIF.

Esperamos que esta síntesis ayudará a las personas interesadas a evaluar las posibilidades que ofrecen las mezclas entre las diferentes alternativas posibles y les animará a llevar a cabo las necesarias actividades de investigación y desarrollo en todos estos campos.



DOCUMENTOS COTEC SOBRE OPORTUNIDADES TECNOLÓGICAS

Documentos editados:

- Nº 1: Sensores
- Nº 2: Servicios de Información Técnica
- Nº 3: Simulación
- Nº 4: Propiedad Industrial
- Nº 5: Soluciones Microelectrónicas (ASICs) para todos los Sectores Industriales

Documentos en preparación:

- Nº 6: Tuberías de Polietileno para conducción de agua potable
- Nº 7: Actividades Turísticas

DOCUMENTOS COTEC SOBRE NECESIDADES TECNOLÓGICAS

Documentos editados:

- Nº 1: Sector Lácteo
- Nº 2: Rocas Ornamentales
- Nº 3: Materiales de Automoción
- Nº 4: Subsector Agro-industrial de origen vegetal
- Nº 5: Industria Frigorífica y Medio Ambiente

Documentos en preparación:

- Nº 6: Productos dietéticos cárnicos
- Nº 7: Productos reconstituídos de pescado