

# Ecoeficiencia: Comparación de sistemas de supermercados

ARTÍCULO HONEYWELL REFRIGERANTS ESCRITO EN JULIO DE 2017  
 POR NACER ACHAICHA - LÍDER TECNOLÓGICO EMEA / PAVEL WISNIK INGENIERO DE APLICACIONES SENIOR

La refrigeración comercial ha estado bajo el escrutinio de políticos y reguladores de todo el mundo debido al uso de fluidos de alto PCA (Potencial de Calentamiento Atmosférico) como el R-404A y por los altos ratios de fugas. En Europa la F-Gas prohíbe los refrigerantes de alto PCA y proyecta una reducción gradual del uso de los HFC basados en su CO<sub>2</sub> equivalente. El uso de refrigerantes con PCA bajo proporcionará una solución de futuro. Con el fin de responder a los retos de la F-Gas y reducir el consumo de energía en refrigeración comercial se están investigando y desarrollando nuevos sistemas. Ya existen dos tipos de soluciones disponibles que pueden usarse para contribuir a que el sector de refrigeración comercial cumpla con los objetivos de la F-Gas. La más rápida, económica y medioambientalmente favorable es reconvertir los sistemas existentes de R-404A a un refrigerante de menor PCA. Y por otro lado ya se están estudiando distintas configuraciones para nuevas instalaciones. La combinación de R-744 con los HFO y mezclas de HFO de última generación ofrece beneficios en cuanto a seguridad y rendimiento. El concepto de ecoeficiencia es una de las mejores bases para comparar distintos sistemas en términos no solo medioambientales, sino también de impacto económico.

### Concepto de ecoeficiencia

Se han desarrollado muchas métricas para medir la huella de carbono de los sistemas de refrigeración. El PCA, utilizado por muchos legisladores por su simplicidad, es una medida del impacto directo de las emisiones a la atmósfera.

Dependiendo del porcentaje de fugas el PCA puede recoger tan solo del 10 al 35% del total del impacto medioambiental. El TEWI (siglas en inglés para Impacto Total sobre Calentamiento Ambiental) es la medida de las emisiones directas e indirectas, siendo las indirectas las debidas al uso de energía para alimentar el sistema de refrigeración. A diferencia del PCA, el TEWI puede recoger hasta un 95% del impacto medioambiental.

El impacto residual solo puede capturarse mediante un análisis exhaustivo del LCCP (Rendimiento Climático del Ciclo de Vida); pero esto implica hacer suposiciones, como la energía necesaria para producir componentes y fluidos, transporte y montaje del equipo, servicio y mantenimiento, eliminación del residuo, etcétera, lo cual hace la aproximación difícil y no siempre más precisa.

Una carencia de todas estas métricas es que son unidimensionales. Siempre es posible reducir el impacto medioambiental de cualquier sistema usando mejores componentes, condensadores mayores, eyectores...

Es decir, siempre es posible mejorar el impacto medioambiental gastando más dinero en un sistema dado. El coste total del sistema es, pues, un parámetro importante que debe tenerse en cuenta cuando se compara rendimiento medioambiental.

La ecoeficiencia es una métrica bidimensional que incluye tanto el impacto medioambiental del sistema como su coste total.



### Supuestos

La comparación se basa en un supermercado típico de 2000 m<sup>2</sup>, con cargas de 68 kW para MT y 18 kW para BT. Se han considerado dos regiones europeas diferentes: una más fría, representada por la ciudad de Hamburgo (Alemania) y otra más cálida, representada por Sevilla (España).

Los datos de temperatura se han obtenido de bases de datos meteorológicas de 2016, identificándose las temperaturas medias mensuales para el día y la noche. Las cargas nominales del supermercado se refieren a temperaturas diurnas, mientras que las cargas nocturnas se han considerado como la mitad para incorporar el consumo reducido durante las horas en las que la tienda está cerrada al público.

Para el consumo eléctrico se consideraron los siguientes componentes: compresores, ventiladores de condensadores, ventiladores de evaporadores, ventiladores e iluminación de muebles frigoríficos, resistencias de desescarche (solo en las unidades de BT; se supone que dichas resistencias trabajan cuatro veces al día con ciclos de desescarche de treinta minutos). El coste de electricidad utilizado es de 0,097 € kWh/h y el factor de emisión (emisiones de CO<sub>2</sub> en la planta de generación de electricidad) es 0,43 kg kWh/h.

Un parámetro crítico en el estudio es el coste inicial del sistema (CAPEX). Se desarrolló una lista de materiales detallada para cada sistema que incluía los racks de compresores, intercambiadores de calor (HEX) y componentes del sistema (tuberías, válvulas, aislamiento, carga inicial de refrigerante...).

Los costes de instalación se basaron en horas estandarizadas para el montaje de componentes normalizados del sistema de refrigeración: HEX, racks, tuberías, aislamiento, conductos para cables, comisionado...

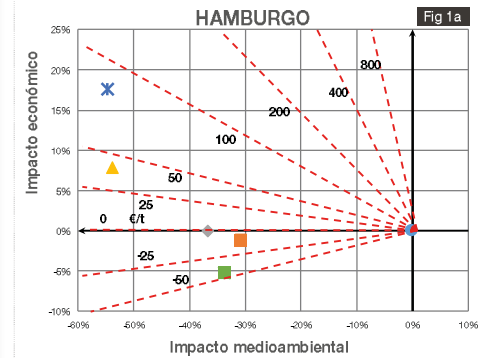
Otro componente del coste total es el de operaciones (OPEX), basado en trabajos regulares de mantenimiento (aceite, cambio de filtro, pequeñas reparaciones...). El análisis se realizó para una vida útil de quince años y una tasa de fugas del 15%.

## Resultados

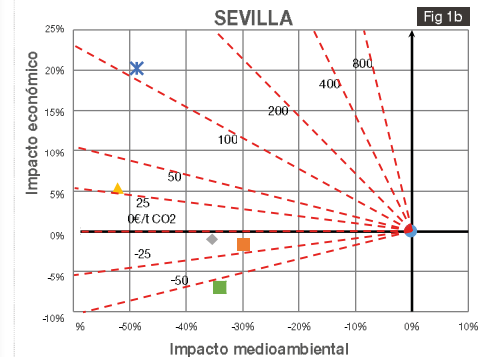
El estudio se llevó a cabo mediante un sistema de simulación propio, complementado con programas de cálculo de terceros para la selección y rendimiento de compresores y dimensionamiento de los intercambiadores de calor. Los resultados aparecen en las gráficas de ecoeficiencia mostradas en las figuras 1a y 1b para Hamburgo y Sevilla respectivamente, como porcentaje del sistema base de R-404A.

Todas las alternativas muestran una reducción del impacto medioambiental respecto a la base de comparación, el sistema con R-404A, pero con distinto impacto económico.

GRÁFICAS DE ECOEFICIENCIA PARA HAMBURGO Y SEVILLA



- 1. DX R-404A para MT & BT - Hamburgo
- 2. DX R-407F para MT & BT - Hamburgo
- 3. DX R-448A para MT & BT - Hamburgo
- ▲ 4. Cascada R-1234ze/CO<sub>2</sub> - Hamburgo
- ★ 5. a Booster CO<sub>2</sub> - Hamburgo
- 6. DX Booster R-407F para MT & BT - Hamburgo



- 1. DX R-404A para MT & BT - Sevilla
- 2. DX R-407F para MT & BT - Sevilla
- 3. DX R-448A para MT & BT - Sevilla
- ▲ 4. Cascada R-1234ze/CO<sub>2</sub> - Sevilla
- ★ 5. b Booster CO<sub>2</sub> con compresión paralela y eyector - Sevilla
- 6. DX Booster R-407F para MT & BT - Sevilla

## Configuraciones de refrigeración comercial

La intención detrás del desarrollo de nuevas configuraciones es reducir la huella de carbono de los supermercados y asegurar el cumplimiento con la legislación. Se han seleccionado seis sistemas que representan los principales utilizados hoy en la industria y otros nuevos basados en refrigerantes de bajo PCA.

**1** DX (expansión directa) centralizado con R-404A para MT (media temperatura) y BT (baja temperatura)

**2** DX centralizado, similar al sistema 1 pero usando R-407F

**3** DX centralizado, similar al sistema 1 pero usando R-448A (Solstice® N40)

**4** Cascada con DX de R-1234ze para MT y DX de CO<sub>2</sub> para BT. El calor disipado de lado de BT de CO<sub>2</sub> se utiliza en cascada en el sistema de HFO de MT

**5a** a) Booster CO<sub>2</sub> en regiones frías  
b) Booster CO<sub>2</sub> con compresión paralela y eyector para regiones cálidas

**5b** R-744 Booster+PC+eyector

**6** Booster con R-407F

Inyección de líquido en BT incluido en el cálculo económico  
 CP: compresión paralela



Los sistemas 2 y 3 son muy similares a la base comparativa, simplemente llevan refrigerantes distintos (típico de la reconversión), pero los impactos ambientales de dichos fluidos son importantes.

El R-407F y el Solstice® N40 han sido ya adoptados por muchos supermercados por su bajo PCA y también por los ahorros energéticos demostrados en muchas aplicaciones, tanto en MT como en BT: ambos implican reducción de emisiones con coste total similar o menor. Los sistemas en cascada HFO/CO<sub>2</sub> y los sistemas de CO<sub>2</sub> son los que consiguen mayor reducción de huella de carbono, principalmente debido al PCA ultrabajo de los refrigerantes. El sistema en cascada muestra resultados muy prometedores tanto medioambientales como económicos.

Las líneas rojas de puntos representan valores constantes de euros por toneladas de CO<sub>2</sub> retiradas. Las configuraciones con R-744 (5a y 5b) presentan una importante reducción de impacto ambiental, pero es a costa de un gran impacto financiero.

Ambos sistemas de R-744 reducen las emisiones con un coste de entre 80 y 110 € por tonelada de CO<sub>2</sub> eliminado. El sistema en cascada con HFO y R-744 también proporcionan una disminución considerable de emisiones,

pero con un coste más reducido: entre 25 y 40 € por tonelada de CO<sub>2</sub> retirado. Con las soluciones de R-407F y R-448A se consiguen reducciones de entre el 30 y el 40% sin coste adicional o incluso reducido.

Una cadena de supermercados que elija esta última opción podría en realidad conseguir sus objetivos medioambientales con un beneficio económico a largo plazo.

El sistema número 4 se basa en R-1234ze (Solstice® ze), un A2L en expansión directa. Hay estudios en curso para revisar los estándares de seguridad y establecer si se puede aumentar la carga máxima de los refrigerantes A2L en un futuro próximo.

Solstice® ze además es no inflamable según la regulación europea sobre inflamabilidad y GHS (Global Harmonized Standard; Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, relativo a transporte y almacenamiento).

Los resultados a la vista de su rendimiento medioambiental demuestran que refrigerantes como el Solstice® ze podrían ser permitidos (de forma segura) en cargas mucho mayores en DX.

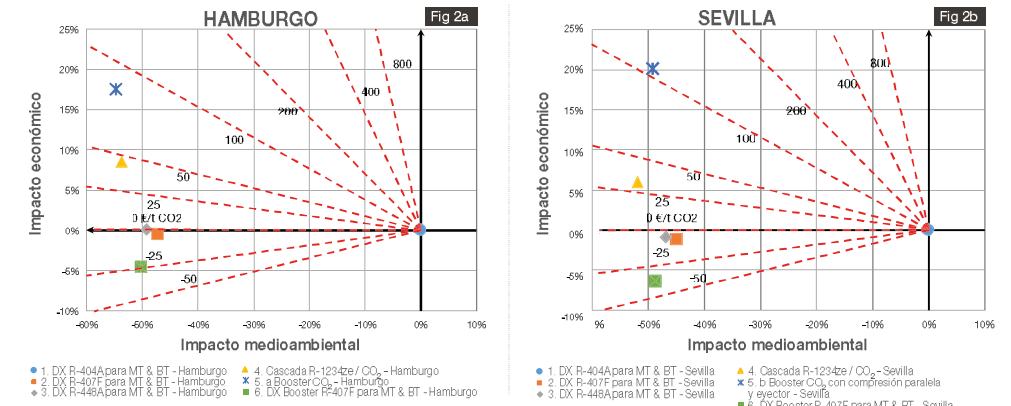
Los sistemas estándar basados en R-407F y Solstice® N40 no solo no tienen el menor CAPEX, sino que además ofrecen el mejor rendimiento energético tanto en climas cálidos como fríos. El impacto medioambiental podría mejorarse simplemente reduciendo las fugas.



## Ventajas de la reducción de fugas

Se estudió también el efecto de disminuir las fugas al 5% en los sistemas con R-407F y Solstice® N40 (R-448A). A fin de reflejar el coste asociado al trabajo de reducción de fugas se añadió un 10% al importe de mantenimiento. Los resultados se muestran en las figuras 2a y 2b. Como era de esperar, el efecto de la reducción de fugas es una disminución aún mayor del impacto ambiental de dichos sistemas sin prácticamente efecto sobre la variable económica.

GRÁFICOS DE ECOEFICIENCIA CON UNA TASA DE FUGAS DEL 5%



## Conclusiones

La ecoeficiencia es una métrica bidimensional que recoge casi el cien por cien de impacto medioambiental y económico y resulta la mejor herramienta de evaluación para comparar distintos sistemas.

Tabla comparativa del R-404A. Los valores más bajos corresponden a los mejores impactos.

	Sistema	Impacto medioambiental	Impacto económico	Coste € por tonelada de CO <sub>2</sub> retirada
15% fugas	R-407F y R-448A	-30 a -37 %	0 a -7%	0 a -50 €
	Cascada R-1234ze/R-744	-53%	5 a 7%	25 a 30 €
	R-744	-49 a -54%	17 a 20%	80 a 100 €
5% fugas	R-407F y R-448A	-45 a -51%	0 a -7%	0 a -35 €
	Cascada R-1234ze/R-744	-53%	5 a 7%	25 a 30 €
	R-744	-49 a -54%	17 a 20%	80 a 100 €

Los sistemas de R-744 tienen buen impacto ambiental, debido principalmente al PCA ultrabajo del refrigerante, pero a un considerable coste extra. Sin embargo los sistemas estándar en DX con HFC pueden igualmente tener buen impacto medioambiental pero además con beneficios financieros.

Reducir las fugas del 15% al 5% convertiría los sistemas basados en HFC/HFO (R-407F y R-448A) en los más ventajosos considerando ambos efectos, económico y ambiental. Estos sistemas se pueden instalar hasta el año 2022 y no tienen fecha límite para usarlos en servicio y mantenimiento.

Los sistemas en cascada con Solstice® ze / R-744 ofrecen la alternativa más equilibrada para nuevas instalaciones y se espera que se utilicen mucho más cuando se revisen los estándares actuales para permitir mayores cargas de refrigerantes A2L de forma segura.

## Un ejemplo práctico en nuestra industria

Según el Gapometer de EPEE (Asociación Europea para la Energía y el Medioambiente) se necesita recortar 51 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente para cumplir con el objetivo del reglamento F-Gas de reducción del 60% de

emisiones en 2021, y las nuevas instalaciones deben contribuir al 52% de esta reducción (26 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente).

- Usar solo sistemas de R-744 podría COSTAR a la industria entre 2,1 y 2,6 billones de euros (26 MT CO<sub>2</sub>eq \* 80 a 100 €/T CO<sub>2</sub>eq = 2,123 a 2,654 millones de euros)

- Usar sistemas HFC/HFO (hasta 2022) podría AHORRAR a la industria hasta 910 millones de euros (26 MT CO<sub>2</sub>eq \* 0 a 35 €/T CO<sub>2</sub>eq = 0 a -910 millones de euros)

Utilizando la herramienta de ecoeficiencia para tomar decisiones la industria podría evitar un coste de entre 2,1 y 2,6 billones de euros.

NB: Este estudio se encuentra actualmente en desarrollo. Se estudiarán otros sistemas, como grupos de bucle de agua, impulsores R-455A o el sistema Cascada ze / R-455A. También se medirá la sensibilidad a los parámetros clave (coste de la electricidad, costes de fluidos o impuestos).