

REFRIGERACIÓN ECOLÓGICA BAIXO PRESIÓN

Juan Manuel Bermúdez e Socorro Castro*

En plena crise de quecemento global, sentimos a presión para afrontar un novo desafío tecnolóxico para combater as altas temperaturas. O aumento demográfico, especialmente nas zonas cálidas, así como un maior poder adquisitivo, supuxo un aumento no consumo de equipamentos de refrigeración. Hoxe en día, estes sistemas son un foco importante de emisións de gases de efecto invernadoiro. Para combater este escenario distópico é necesario achegar o problema á sociedade e buscar novas alternativas que poden atopar a súa orixe en Galicia. A Universidade da Coruña (UDC) está a acadar grandes logros na procura dun sistema de refrigeración ecolóxica e baixo presión.



S. Castro

Aparatos de aire acondicionado na fachada dun edificio en A Coruña.

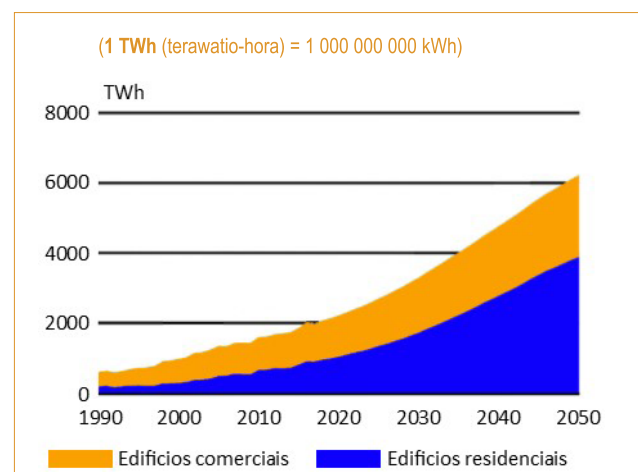
Hoxe en día podemos dicir que estamos na "idade do frío artificial", e é indiscutible que a refrigeración artificial foi unha grande revolución para o desenvolvemento humano, para a nosa saúde e benestar, así como para o crecemento económico. O dominio do frío permitiunos expandirnos a lugares cálidos e desérticos, mellorar a comodidade dentro das nosas casas e vehículos de transporte, así como tamén facilitou o mantemento das bebidas, dos alimentos e dos medicamentos en condicións óptimas de almacenamento. Ademais, a capacidade de manter unha refrigeración axeitada no noso espazo de traballo aumentou moito a produtividade laboral.

O uso destes sistemas de refrigeración aumentou tanto que o último informe da Axencia Internacional de Enerxía mostra un panorama preocupante no futuro da refrigeración. Segundo Fatih Birol, presidente executivo da axencia, "a crecente demanda de equipos de aire acondicionado é un dos puntos cegos máis críticos do debate enerxético actual".

Na actualidade, o 10% do consumo de electricidade no mundo está dedicado a alimentar aparellos de aire acondicionado; e se a isto lle sumamos o consumo do resto de electrodomésticos de refrigeración, como refrigeradores domésticos ou frigoríficos industriais, a cifra supón o 20% da enerxía eléctrica total consumida no mundo. Ademais, o aumento exponencial da poboación, que se concentra máis en áreas cálidas, e o crecemento xeral do poder adquisitivo, están provocando cada vez máis demanda de máquinas de refrigeración, tanto de refrigeradores como de aire acondicionado, que melloran a nosa calidade de vida. Así, por exemplo, no caso específico do aire acondicionado, o uso da enerxía triplicouse entre 1990 e 2016 e espérase que se triplique de novo ata 2050.

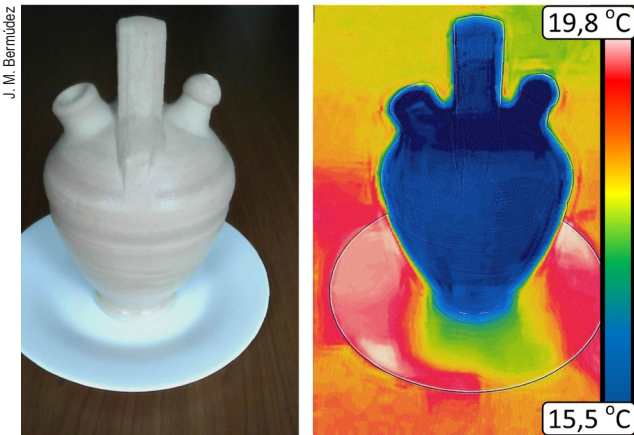
A PRESIÓN DE MANTER UN MUNDO REFRIGERADO

A maior parte dos frigoríficos e máquinas de aire acondicionado funcionan grazas a un fluído refrigerante que cambia ciclicamente de fase, pasando do estado líquido a gas. En xeral, para que un líquido poida pasar a estado gas necesita absorber enerxía da súa contorna. Deste xeito, o líquido absorbe calor do exterior para transformarse en gas e, entón, o exterior arrefriase.



Estimación do consumo enerxético mundial dedicado á refrigeración de edificios. Fonte: Axencia Internacional de Enerxía.

Este mesmo fenómeno xa se aproveitaba antigamente para arrefriar a auga nos porróns típicos do noso país. Estes recipientes de cerámica porosa permiten filtrar gotas de auga desde o interior ao exterior. Na superficie do porrón, as gotas de auga evapóranse -pasan a estado gas- absorbindo calor do exterior, e arrefriando o porrón e a auga que queda no interior. Este é un fenómeno que encontramos a diario na nosa vida. Por exemplo, cando vai calor, a suor evapórase para baixar a temperatura corporal; ou se poñemos alcohol na man, este evaporárase e notaremos unha sensación de frío debido á enerxía que absorbe do noso corpo para pasar a gas.



Imaxe óptica (esquerda) e imaxe térmica (dereita) dun porrón.

Volvendo ás tecnoloxías actuais de refrixeración, aquí o fenómeno de transformación de líquido a gas ocorre nun circuito cerrado que minimiza a perda do fluído refrixerante, e que permite repetir o proceso de forma cíclica, maximizando o efecto de refrixeración. Neste proceso

Os expertos apostan por materiais sólidos calóricos para substituír os fluídos refrixerantes, mudando o ciclo de cambio de estado líquido-gas polo de sólido-sólido

cíclico, o gas comprímese mediante un compresor para forzar a súa transformación a estado líquido. Nesta etapa, o refrixerante xera calor e convértese nun líquido sobre-quentado.

O calor libérase cara ao exterior e o líquido comprimido volve a alcanzar temperatura ambiente. Cando o líquido se descomprime vólvese a estado gas e tórnase frío. Agora temos un gas subarrefriado, que se pode

aproveitar para refrixerar os alimentos -nunha neveira- ou nun espazo cerrado -mediante aire acondicionado-.

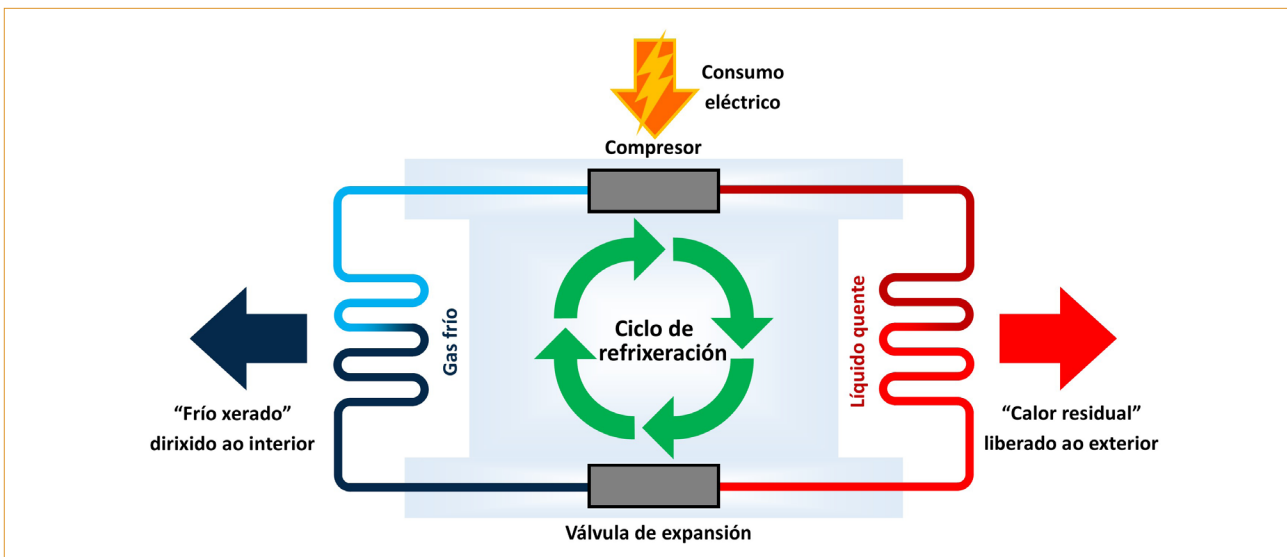
O FRÍO QUE DESTRÚE A CAPA DE OZONO

Quizais, un dos aspectos máis descoñecidos das tecnoloxías actuais de refrixeración é o seu grande impacto ambiental. As máquinas de refrixeración contaminan o planeta principalmente mediante dúas vías: i) por un lado, e a pesares de ser circuitos cerrados, estas máquinas sofren fugas dos fluídos refrixerantes no proceso de carga da máquina, durante o uso continuado do aparato, polo deterioro do mesmo, ou por unha mala xestión do sistema ao final da súa vida útil; ii) por outro lado, a xeración de enerxía eléctrica -principalmente obtida de combustibles fósiles- que abastece estes aparatos leva aparelada unha pegada de CO₂ que dá lugar ás denominadas emisións indirectas da refrixeración.

A UDC abriu unha nova liña de investigación en materiais barocalóricos de baixa presión que está supoñendo un grande avance na busca de novos refrixerantes ecolóxicos

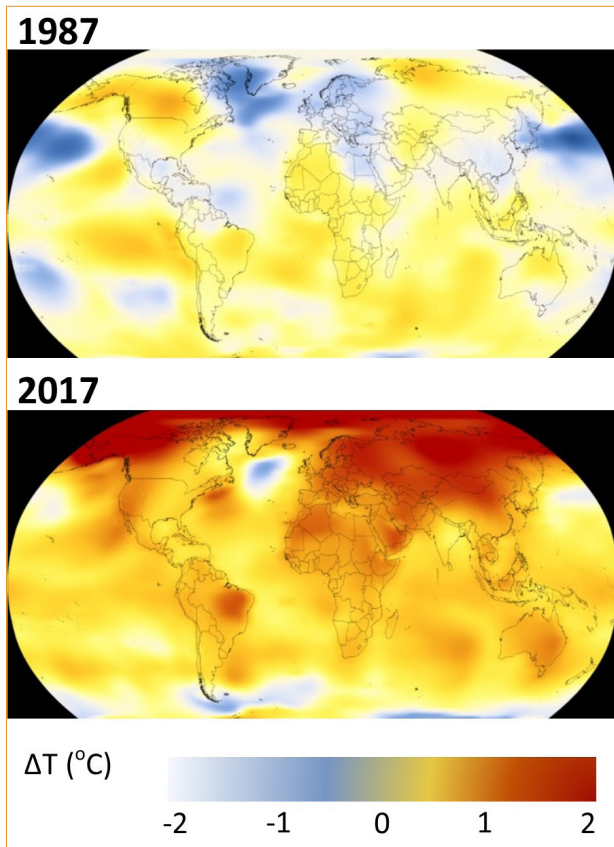
En canto ás emisións directas de fluídos refrixerantes, non é a primeira vez que estes provocan una catástrofe medioambiental, como é o caso do burato na capa de ozono. Para “refrescar” a memoria á persoa lectora: o ozono é un gas de fórmula molecular O₃ (formado por tres átomos de osíxeno por molécula), cuxa maior concentración se encontra nas capas altas da atmosfera (concretamente na estratosfera, entre os 15 e os 50 km de altitude), formando o que coñecemos como a capa de ozono ou ozonosfera. Esta capa de ozono é a encargada de absorber a maior parte da radiación ultravioleta (UV) enerxética que lle chega, protexéndonos dos seus malos efectos. Cabe recordar que, a día de hoxe, a radiación UV é a principal causa de cancro de pel.

En 1974, os investigadores F. S. Rowland e M. J. Molina xa anunciaban que os fluídos refrixerantes que se estaban a utilizar, os denominados clorofluorocarbonos ou CFCs, podían chegar á estratosfera e atacar o ozono. Porén, non foi ata 1985 cando se revelou o verdadeiro potencial destrutivo destes refrixerantes. Nese ano detectouse unha diminución anómala da concentración de ozono, dunha magnitude moito maior do que se tiña anticipado. Encontreuse un burato de ozono sobre o continente Antártico no que a concentración de ozono caera perto dun 50 %. Estas evidencias fixeron saltar as alarmas e precipitaron un acordo internacional mediante o cal se prohibiu o uso dos gases CFCs. Este acordo, asinado en 1987 e denominado Protocolo de Montreal, foi o primeiro tratado internacional en materia de protección medioambiental



Circuito de refrixeración onde o fluído se comprime e se quenta; e se expande e torna frío, ciclicamente.

e é un referente que sentou as bases de todos os acordos climáticos da nosa historia recente. Con todo, malia á rápida resposta por parte dos 197 estados asinantes, os últimos datos prognostican que a capa de ozono non se recuperará completamente ata 2050-2070.

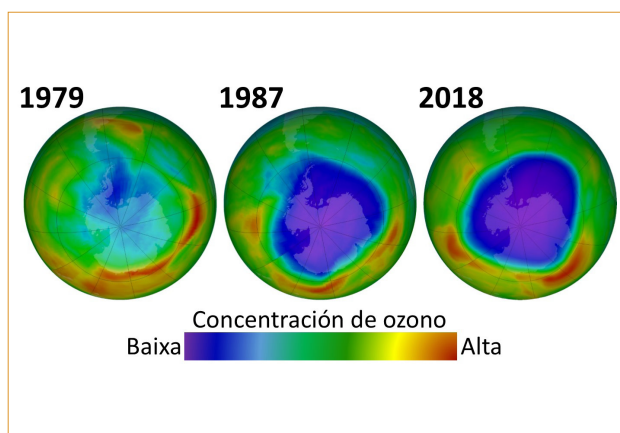


Aumento do quecemento global nos últimos 30 anos, con respecto á temperatura media observada entre 1951 e 1980.

Tras a prohibición dos CFCs, estableceuse o uso de novos fluídos refrixerantes baseados en compostos hidrofluorocarbonados, ou HFCs, como unha alternativa temporal. Os novos HFCs non contribúen ao deterioro da capa de ozono, pero si contribúen ao quecemento global.

O FRÍO QUE AUMENTA O QUECEMENTO GLOBAL

Nos últimos anos, a temperatura media do noso planeta aumentou arredor de 1°C con respecto á temperatura media rexistrada entre 1951 e 1980 (valor que se usa como referencia). Neste sentido, e aínda que os HFCs non son os principais responsables do quecemento global, é certo que un destes gases ten un potencial de quecemento global (PCG) de



Evolución da capa de ozono desde 1987 ata a actualidade. Fonte: NASA Ozone Watch.

ata 1400, sendo 1 o PCG do CO_2 . A modo de exemplo, en 2016 España rexistrou unha fuga de refrixerantes HFCs á atmosfera que supuxo o equivalente de entre 5 e 10 millóns de toneladas de CO_2 . Por todo isto, a Unión Europea eliminará do mercado aqueles gases cun PCG superior a 2500 para o ano 2020, para posteriormente eliminar aqueles cun PCG superior a 150 no ano 2022.

É aquí onde xorde o novo conflito da próxima xeración de refrixerantes. Os HFCs estanse substituíndo por outros refrixerantes denominados "naturais", con menor PCG, que xa foron utilizados no pasado e que se abandonaron, entre outras cousas, polo relativo perigo que supoñen. Este é o caso do amoníaco (NH_3) -composto tóxico-, os hidrocarburos (como o isobutano, $\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}_3)_2$) -gases inflamables-, ou o propio dióxido de carbono (CO_2) -gas asfixiante e principal causa do quecemento global-. E aínda que as novas tecnoloxías de refrixeración melloraron os seus deseños para minimizar fugas e previr accidentes, sería desexable encontrar outras alternativas menos perigosas e máis respectuosas co medio ambiente.

Por outra banda, a fuga de HFCs só supón o 20 % das emisións derivadas das máquinas de refrixeración. O 80 % restante é debido a emisións indirectas que se xeran ao producir a enerxía necesaria para abastecer estes aparatos. Neste sentido, a eficiencia dos refrixeradores é un factor determinante no seu impacto ambiental, xa que canto menor é a eficiencia, maiores serán o consumo enerxético e as emisións indirectas.

ABRINDO CAMIÑO CARA A UNHA SÓLIDA ALTERNATIVA

Un estudo recente conclúe que existen poucos fluídos (menos dunha trintena) que reúnan as condicións químicas, medioambientais, termodinámicas e de seguridade necesarias para utilizalos como refrixerantes. Ademais, os fluídos que pasaron este primeiro filtro presentan, cando menos, o inconveniente de que son inflamables, e/ou a súa eficiencia non é adecuada.

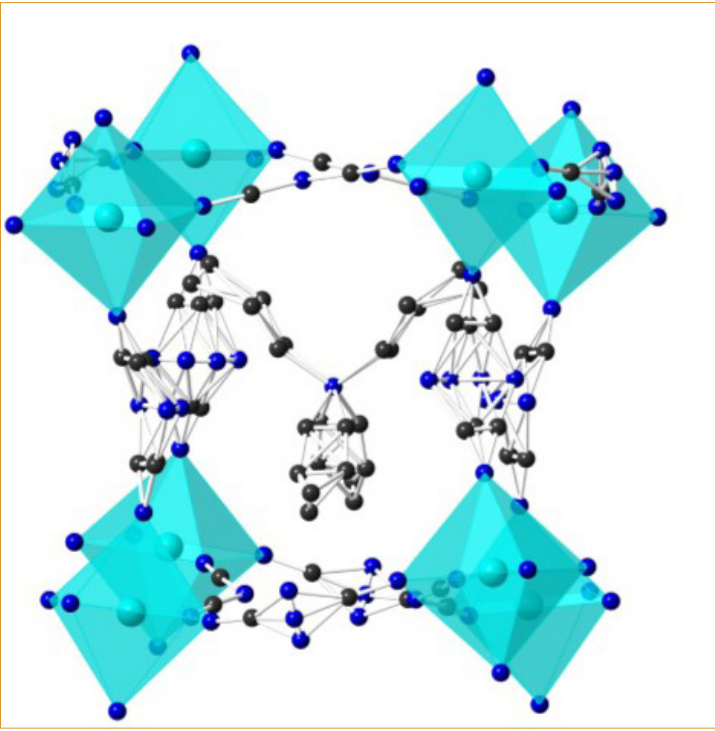
O consumo de electricidade por refrixeración supón o 20% do total da enerxía eléctrica consumida no mundo

Á vista deste escenario, científicos expertos en sistemas alternativos de refrixeración apostan por materiais sólidos para substituír os fluídos refrixerantes. Estes materiais sólidos, denominados materiais calóricos, tamén sofren transicións de fase, ao igual que lles pasa aos fluídos refrixerantes. Pero neste caso, en lugar de pasar de estado líquido a estado gas, os materiais calóricos pasan dunha fase sólida (cun ordenamento particular dos átomos) a unha segunda fase sólida (onde os átomos están desordenados). En analogía cunha transformación líquido-gas, unha

En 2016, o Estado español rexistrou unha fuga de refrixerantes HFC á atmosfera equivalente a entre 5 e 10 millóns de toneladas de CO_2

transición sólido-sólido tamén leva asociada un cambio de temperatura que se pode utilizar para refrixerar. Nestes materiais calóricos, o cambio de fase pódese inducir con diferentes estímulos externos. Por exemplo, podemos empregar un campo magnético, un campo eléctrico, unha forza uniaxial ou unha presión hidrostática, dando lugar aos denominados materiais magneto-, electro-, elasto- e barocalóricos, respectivamente. Os materiais sólidos calóricos eliminan a necesidade de fluídos perigosos e contaminantes, pódense recuperar e reciclar en caso de fuga, permiten crear sistemas máis compactos e prometen ser máis eficientes que os refrixerantes actuais.

Sen embargo, a día de hoxe presentan unha serie de desvantaxes que deben solucionarse. Así, por exemplo, a maioría dos materiais magne-



Modelo da estrutura química das “perovskias” e aspecto real dunha perovskia en pó.

localóricos están baseados en aliaxes de alto custo económico e necesitan campos magnéticos moi enerxéticos para poder refrixerar. Así mesmo, os materiais electrocalóricos tamén necesitan campos eléctricos grandes que acaban deteriorando o material. En canto aos sólidos elastocalóricos, o proceso cíclico de tensión uniaxial acaba provocando roturas por fatiga. Por último, os materiais barocalóricos tradicionalmente necesitan presións superiores a 1000 bar, mentres que os compresores convencionais poden xerar un máximo de 70 bar.

Nos anos 80 prohibíronse os refrixerantes CFC polo seu impacto na capa de ozono e substituíronse polos do tipo HCF que, á súa vez, contribúen ao quecemento global

Afortunadamente, nos últimos anos déronse avances moi prometedores neste campo. Un feito destacable é a aparición da primeira neveira para viño refrixerada por materiais magnetocalóricos máis económicos, presentada por BASF, Haier e Astronautics en 2015.

En 2017, a Universidade de A Coruña descubriu unha nova familia de materiais barocalóricos moi flexibles que poden producir un efecto de refrixeración baixo presións, por primeira vez, inferiores ao límite dos 70 bar.

Estes materiais están baseados nunha combinación de metais abundantes e económicos (como manganeso ou ferro) e unidades orgánicas (cadeas de carbono, nitróxeno e hidróxeno), o que lles confire unha gran flexibilidade. Ademais, presentan un efecto de refrixeración similar ou superior ao resto de materiais calóricos coñecidos. O método de produción tamén destaca por ser sinxelo, económico e utilizar disolventes respectuosos co medio ambiente (auga e etanol), o que facilitará a obtención destes produtos a grande escala.

Os compostos estudados pertencen a unha clase de materiais denominados “tipo perovskita” que, de forma simplificada, abrangue materiais que presentan unha estrutura reticular baseada en redes de cubos que acollen diferentes ións no seu interior. Por iso, os investigadores da Coruña decidiron acuñar o termo “perovskias” para render homenaxe á orixe galega do descubrimento.

Os primeiros estudos sobre as “perovskias” indican que poden chegar a arrefriar entre 5-10°C en condicións de laboratorio. Este efecto, aínda que lonxe do que se precisa para arrefriar unha neveira (20-30°C), aproxímase ás necesidades dun aparato de aire acondicionado (10-15°C).

Estes resultados, publicados na prestixiosa revista *Nature Communications*, e divulgados a través da plataforma TEDxGalicia, despertaron o interese de expertos mundiais en refrixeración, como investigadores da Universidade de Cambridge, cos que o grupo da Universidade da Coruña xa iniciou unha colaboración. Desta maneira, a Universidade herculina abriu unha nova liña de investigación en materiais barocalóricos de baixa presión que está supoñendo un grande avance na busca de novos refrixerantes ecolóxicos.

REPITAMOS OS ÉXITOS DO PASADO

O futuro da refrixeración prognostica un incremento exponencial da demanda enerxética e das emisións derivadas deste sector. Ao longo da historia, enfrontámonos a crises ambientais orixinadas polas tecnoloxías do frío, como o burato da capa de ozono ou o quecemento global. Neste escenario, o Protocolo de Montreal foi un éxito para a protección e recuperación da capa de ozono; éxito que non só se debeu á rápida resposta política e científica, senón tamén á resposta social que, consciente dos riscos medioambientais, esixiu unha solución.

Agora é o momento de volver unir política, ciencia e conciencia social para enfrontarnos a este novo reto climático. É o momento de reconducir o quecemento global mediante unha nova refrixeración respectuosa co noso planeta.

*Juan Manuel Bermúdez García e Socorro Castro García son Investigadores do Grupo de Química Molecular e de Materiais (QuiMolMat), da Universidade da Coruña (UDC).

REFERENCIAS

- International Agency of Energy, The Future of Cooling, 2018 (<https://www.iea.org/cooling>)
- NASA Ozone Watch (<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>) and Climate Change (<https://climate.nasa.gov/>)
- Nature Communications, 2017, 8, 14476; and 2017, 8, 15715.
- TEDxGalicia, 2020: Camino hacia el enfriamiento global (<https://www.youtube.com/watch?v=aUJ3ysJqSpE>)