Título	¿Por qué se enfría el bote al abrirlo? Expansión de gases en envases alimentarios
Concepto físico	Expansión adiabática. Efecto Joule-Thomson. Cambios de fase. Ley de los gases ideales. Calor latente de vaporización.
Enlaces	Link 1 (Expansión adiabática) Link 2 (Efecto Joule-Thomson)

Explicación teórica

Al abrir una lata de refresco fría se forma una pequeña nube de vapor en el orificio. Al descorchar una botella de cava aparece una niebla blanca en el cuello. Un bote de nata montada en spray se enfría claramente al tacto durante el uso. Un extintor de CO_2 forma nieve en su bocina. Todos estos fenómenos cotidianos tienen una raíz física común: cuando un gas o un líquido volátil a presión se libera hacia un entorno de menor presión, se expande, y esa expansión va acompañada de un descenso de temperatura. La magnitud del enfriamiento depende del tipo de gas, de la presión inicial y del mecanismo físico concreto que opera en cada caso.

La ley de los gases ideales y la expansión adiabática

El comportamiento de un gas queda descrito en primera aproximación por la ley de los gases ideales: $pV = nRT$, donde p es la presión, V el volumen, n el número de moles, R la constante de los gases y T la temperatura absoluta. En una expansión adiabática, el gas no intercambia calor con el entorno. Si además la expansión se produce realizando trabajo sobre el exterior, la energía necesaria para ese trabajo procede de la energía interna del propio gas. En un gas ideal, esa energía interna está asociada a la energía cinética media de sus moléculas, por lo que al disminuir la energía interna también disminuye la temperatura.

Este es el principio que opera en los sprays de cocina y en los extintores: el gas propelente almacenado a alta presión sale por una válvula estrecha y se expande bruscamente al llegar a la presión atmosférica. La expansión es aproximadamente adiabática porque ocurre demasiado rápido para que el calor se intercambie con el entorno. El resultado es un descenso brusco de temperatura que se manifiesta como el enfriamiento del bote al tacto.

El efecto Joule-Thomson: los gases reales se comportan diferente

Para un gas ideal, la temperatura no cambiaría en una expansión a través de una estrangulación si el proceso se produce a entalpía constante (es decir, sin trabajo externo ni intercambio de calor). Sin embargo, los gases reales tienen interacciones entre sus moléculas que el modelo ideal ignora. El efecto Joule-Thomson describe el cambio de temperatura que experimenta un gas real al expandirse lentamente a través de un orificio o una válvula a entalpía constante.

Para la mayoría de los gases a temperatura ambiente (CO_2, propano, butano, N_2O), el efecto Joule-Thomson produce un enfriamiento: las fuerzas de atracción entre moléculas hacen que al separarse necesiten energía, que extraen de su propia energía cinética, bajando así la temperatura. Este es el mecanismo que opera cuando el CO_2 sale de una lata de refresco al abrirla: el gas, que estaba disuelto a ~3 atmósferas, se expande a través del orificio de apertura y se enfría varios grados. El aire húmedo

cercano se enfría por debajo del punto de rocío y el vapor de agua condensa, formando la pequeña nube visible.

El caso del cava o champán es más espectacular porque la presión inicial es mayor (~5–6 atm) y la expansión al descorchar es muy brusca. La niebla blanca que aparece en el cuello de la botella no es vapor de alcohol, como se suele pensar erróneamente, sino vapor de agua del aire ambiente que condensa (e incluso congela parcialmente) al entrar en contacto con el CO_2 frío que escapa.

El propelente licuado: evaporación y calor latente

Los sprays de nata montada, algunos sprays de aceite y muchos aerosoles de uso alimentario usan propelentes licuados (butano, propano o N_2O) almacenados en estado líquido bajo presión. Al accionar la válvula, el líquido propelente sale al exterior y se evapora de forma casi instantánea. La evaporación es un proceso que requiere absorber calor latente: el propelente extrae esa energía del bote y del contenido, enfriándolos. Es el mismo principio que hace que el alcohol en la piel produzca sensación de frío al evaporarse, o que el sudor enfríe el cuerpo.

En el caso de la nata en spray, el N_2O disuelto a alta presión (~9 atm) cumple una doble función: es propelente y agente de aireación. Al salir del bote, el N_2O disuelto en la nata líquida se expande de forma ultrarrápida, nucleando millones de burbujas diminutas que transforman la nata líquida en espuma. La expansión simultánea del gas enfría la nata, contribuyendo a estabilizar la espuma recién formada. Esta ficha conecta directamente con los conceptos de nucleación de burbujas vistos en la ficha sobre el cava.

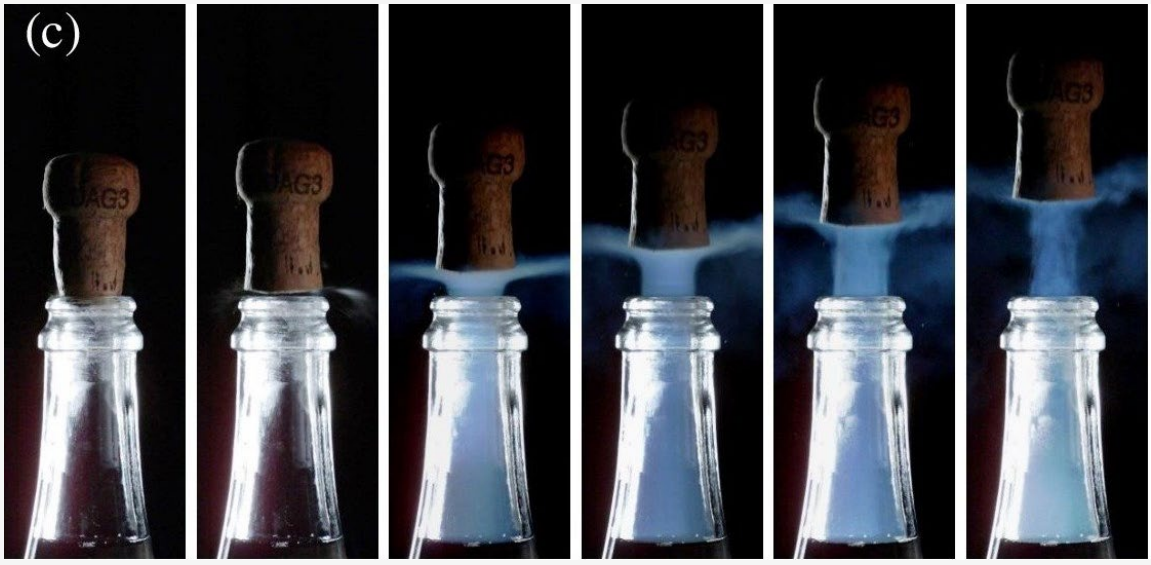
El caso extremo: el extintor de CO_2 y la nieve carbónica

En un extintor de CO_2, el dióxido de carbono se almacena mayoritariamente en estado líquido, en equilibrio con su vapor, a una presión del orden de 55–57 atmosferas a temperatura ambiente. Al accionar el extintor, el CO_2 se expande bruscamente hacia la presión atmosférica. La caída de presión y el enfriamiento asociado hacen que una parte del CO_2 se gasifique y otra parte se transforme en pequeñas partículas sólidas, formando nieve carbónica o hielo seco. A presión atmosférica, el CO_2 sólido sublima a unos −78,5 °C. Este valor no corresponde al punto triple, sino a la temperatura de sublimación normal del CO_2. El punto triple se encuentra a unos −56,6 °C y 5,1 atm; por debajo de esa presión, el CO_2 líquido no puede existir de forma estable. Por eso, durante la descarga, el sistema cruza hacia una región del diagrama de fases en la que coexisten gas y sólido. La bocina del extintor puede alcanzar temperaturas muy bajas y producir quemaduras por frío si se toca, algo relevante en entornos industriales y de seguridad alimentaria donde estos extintores son habituales.

Mecanismos físicos de enfriamiento por expansión

Mecanismo	Descripción física	Ejemplo alimentario
Expansión adiabática	El gas se expande sin intercambiar calor con el entorno. Al expandirse hace trabajo, su energía interna disminuye y su temperatura cae.	Spray de aceite, extintor de CO_2, bote de nata
Efecto Joule-Thomson	Un gas real al expandirse a través de una estrangulación (válvula, orificio) a entalpía constante se	CO_2 saliendo de una lata de refresco o cerveza al abrirla

	enfría si está por debajo de su temperatura de inversión.	
Evaporación del propelente licuado	El propelente líquido se evapora al bajar la presión. La vaporización absorbe calor latente del bote y del contenido, enfriándolos.	Sprays con propelente butano/propano: el bote se enfría durante el uso
Condensación del vapor de agua del aire	El gas frío que sale del envase enfría el aire húmedo circundante por debajo del punto de rocío, condensando el vapor en gotitas visibles.	Niebla blanca al descorchar el cava o abrir una lata fría en ambiente húmedo



Niebla visible al descorchar una botella de cava

Fuente: Equipe Effervescence, Champagne et Applications / URCA

Preguntas de reflexión

1. Al abrir una lata de refresco caliente (por ejemplo, tras estar al sol), la nube de vapor es mucho más visible y la espuma sube con más fuerza que al abrir una lata fría. Usando la ley de Henry y los conceptos de esta ficha, ¿qué dos efectos físicos se suman para explicar esta diferencia?
2. Un bote de nata en spray lleva un buen rato en uso y cada vez sale con menos presión y más fría. ¿Qué está ocurriendo con el propelente líquido dentro del bote a medida que se consume? ¿Por qué la presión cae progresivamente?
3. La niebla blanca al descorchar el cava no es vapor de alcohol sino vapor de agua condensado. Diseña un experimento sencillo que podrías hacer en casa para demostrar que la niebla desaparece si el ambiente es muy seco, y explica por qué.

4. El helio (He) tiene un efecto Joule-Thomson negativo a temperatura ambiente: se calienta al expandirse. ¿Qué implicación tiene esto para el almacenamiento de alimentos en atmósferas de helio? ¿Conoces algún gas de uso alimentario con comportamiento similar?

Autores: Pascual Sevillano, Francisco José Torcal y Fernando Blesa. Dpto. de Física Aplicada. Universidad de Zaragoza.