Título	Supercongelación, enfriamiento rápido y conservas en lata
Concepto físico	Cambios de fase. Nucleación y crecimiento de cristales. Transferencia de calor. Presión. Termodinámica de la conservación.
Enlaces	Link 1 (Cristalización del agua en alimentos) Link 2 (Tecnología IQF)

Explicación teórica

Conservar alimentos durante semanas, meses o años sin que se deterioren es uno de los grandes retos de la industria alimentaria. Tres de las tecnologías más utilizadas para lograrlo, la supercongelación, el abatimiento rápido de temperatura y el enlatado, tienen en común que su eficacia y sus limitaciones se explican íntegramente desde la física: la nucleación de cristales de hielo, la transferencia de calor, la presión del vapor de agua y la termodinámica del equilibrio entre fases.

Por qué importa la velocidad de congelación: el tamaño de los cristales

Cuando un alimento se congela, el agua que contiene pasa del estado líquido al sólido formando cristales de hielo. El proceso ocurre en dos etapas: primero la nucleación (aparición de los primeros núcleos cristalinos) y luego el crecimiento de esos núcleos. La velocidad a la que se enfría el alimento determina cuál de las dos etapas domina, y esto tiene consecuencias directas sobre el tamaño final de los cristales.

En una congelación lenta, como la que ocurre en un congelador doméstico a −18 °C, el enfriamiento tarda horas. En este tiempo, los cristales de hielo tienen margen para crecer hasta tamaños grandes (de decenas a cientos de micrómetros), y se forman preferentemente en el espacio extracelular. Estos cristales grandes actúan como cuchillas microscópicas que rompen las membranas celulares. Al descongelar el alimento, las células dañadas no pueden retener su contenido acuoso y liberan grandes cantidades de líquido (exudado), resultando en una textura blanda y degradada, especialmente apreciable en frutas, verduras y pescados.

En la supercongelación industrial (tecnología IQF, Individual Quick Freezing), el alimento se somete a temperaturas de −35 a −40 °C con corrientes de aire muy frío o en contacto con nitrógeno líquido. El enfriamiento es tan rápido (minutos) que el agua no tiene tiempo de formar cristales grandes: se generan miles de cristales muy pequeños distribuidos uniformemente tanto dentro como fuera de las células. El daño celular es mínimo y la textura al descongelar es prácticamente indistinguible del producto fresco. Este es el principio detrás de las gambas, guisantes o fresas congeladas de alta calidad que mantienen su forma y textura perfectamente.

En el extremo más radical de la velocidad de enfriamiento, la criocongelación con nitrógeno líquido (−196 °C) es tan ultrarrápida que el agua no tiene tiempo de cristalizar en absoluto: se produce un fenómeno denominado vitrificación, en que el agua pasa directamente a un estado amorfo parecido al vidrio, sin estructura cristalina. Este método, usado en la conservación de células, tejidos y material genético, elimina completamente el daño mecánico por cristales.

El abatidor de temperatura: enfriar rápido para conservar mejor

El abatimiento de temperatura es la aplicación del mismo principio al enfriamiento de alimentos cocinados. Tras la cocción, un alimento caliente que se deja enfriar lentamente a temperatura ambiente pasa durante horas por el intervalo de 65–10 °C, conocido como zona de peligro microbiológico: el rango en que la proliferación bacteriana es más rápida. Un abatidor de temperatura fuerza el enfriamiento rápido con aire a –20 °C, atravesando esa zona crítica en menos de 90 minutos y reduciendo así drásticamente el riesgo de contaminación. La física subyacente es la misma que en la supercongelación: maximizar la velocidad de transferencia de calor desde el alimento hacia el medio refrigerante.

La lata de conserva: presión, vacío y sellado hermético

La conserva en lata es una de las tecnologías de preservación más antiguas y físicamente más interesantes. El proceso de enlatado implica introducir el alimento en el recipiente metálico, aplicar un tratamiento térmico (esterilización en autoclave a 121 °C, como se vio en la ficha de la olla exprés), y sellar herméticamente el envase mientras aún está caliente. Al enfriarse, el vapor de agua y el aire en el espacio se contraen y condensan, generando una presión interior inferior a la atmosférica: se crea un vacío parcial que provoca el característico hundimiento de la tapa que indica que el sellado es correcto.

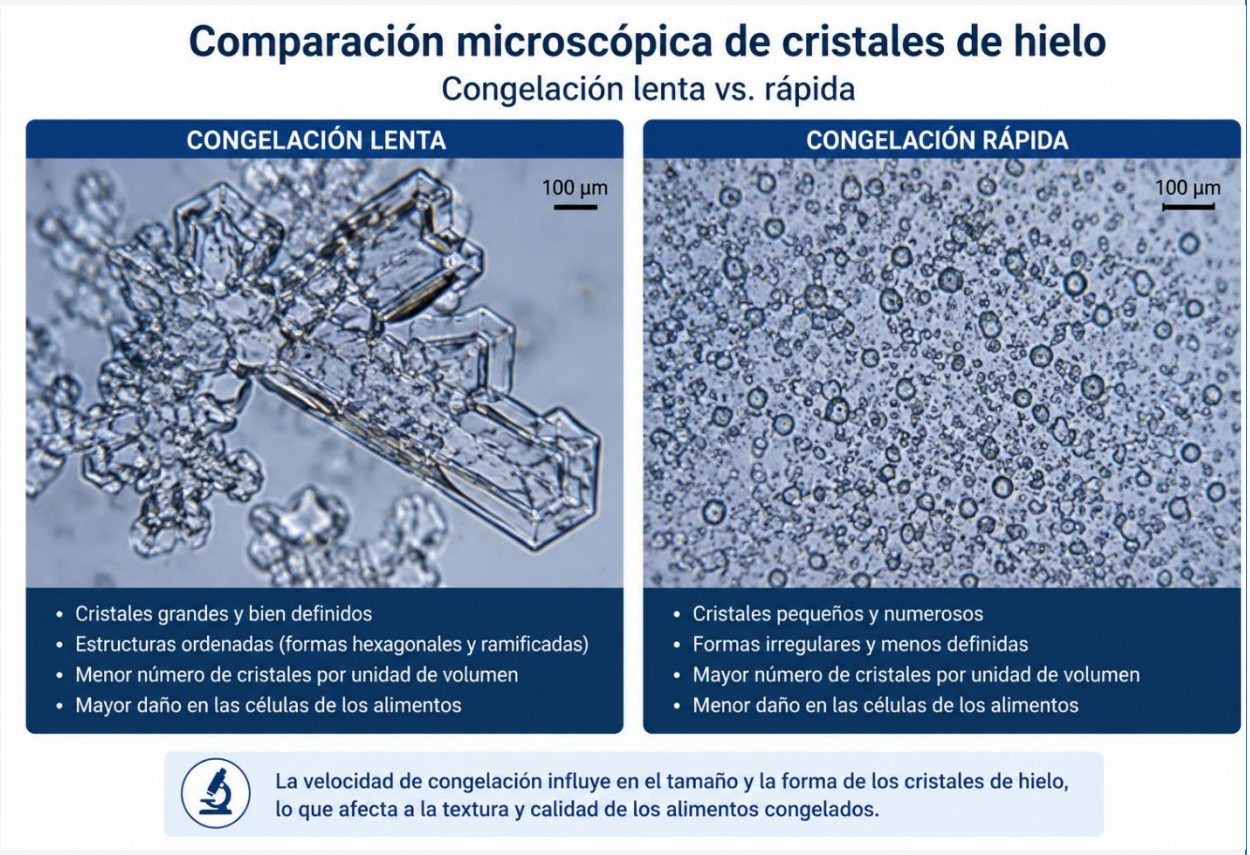
Este vacío parcial cumple varias funciones físicas simultáneas. En primer lugar, la ausencia de oxígeno inhibe el crecimiento de microorganismos aerobios y las reacciones de oxidación que degradan el color, el aroma y los nutrientes. En segundo lugar, la diferencia de presión entre el exterior y el interior mantiene el cierre hermético: la presión atmosférica exterior presiona literalmente la tapa contra el borde de la lata. En tercer lugar, el vacío actúa como indicador de integridad: una lata abombada o que no cede al presionar la tapa indica que la presión interior ha aumentado (por gas producido por microorganismos o por sobrecalentamiento), lo que es una señal inequívoca de que el envase debe desecharse sin abrir.

La lata metálica tiene también propiedades mecánicas relevantes. Su geometría cilíndrica es óptima para resistir la presión exterior uniforme (los recipientes cilíndricos distribuyen el esfuerzo de forma homogénea en toda la pared, sin concentraciones de tensión en esquinas). El grosor del metal es calculado para que la lata no colapse bajo la presión atmosférica exterior ni explote si la presión interior aumentase por encima de ciertos valores, actuando como una válvula de seguridad pasiva por deformación plástica antes de la rotura.

Efecto de la velocidad de congelación sobre los cristales de hielo y la textura

Método de congelación	Velocidad de enfriamiento	Tamaño de cristales de hielo	Efecto sobre la textura al descongelar
Congelación doméstica lenta (–18 °C)	Muy lenta (horas)	Grandes (extracelulares)	Rotura celular, textura blanda, exudado abundante
Abatidor de temperatura rápido (–20 °C con aire forzado)	Rápida (30–90 min)	Medianos	Daño celular moderado, buena textura general

Supercongelación IQF (–35 a –40 °C con nitrógeno)	Muy rápida (minutos)	Muy pequeños (intracelulares)	Mínimo daño celular, textura casi idéntica al producto fresco
Criocongelación con nitrógeno líquido (–196 °C)	Ultrarrápida (segundos)	Nanométricos (vitrificación)	Sin daño celular apreciable, usado en conservación de tejidos biológicos



Comparación microscópica de cristales de hielo en congelación lenta vs. rápida

Fuente: Elaboración propia

Preguntas de reflexión

1. Las fresas congeladas en casa suelen quedar blandas y acuosas al descongelarse, mientras que las fresas IQF del supermercado mantienen su forma. Explica esta diferencia en términos del tamaño de los cristales de hielo y el daño celular.
2. Un cocinero deja enfriar un caldo de carne a temperatura ambiente durante 3 horas antes de meterlo en el frigorífico. ¿Qué riesgo microbiológico conlleva esta práctica y qué fenómeno físico lo explica? ¿Qué debería hacer en su lugar?

3. Al abrir una lata de conserva correctamente sellada se escucha un pequeño silbido de aire entrando. ¿Qué indica este sonido sobre la presión interior de la lata antes de abrirla? ¿Y si al presionar la tapa esta no cede, sino que está abombada hacia fuera?
4. El agua del mar tiene un punto de congelación de aproximadamente −1,8 °C, inferior al del agua pura (0 °C) debido a las sales disueltas. ¿Cómo afecta esta propiedad a la conservación de pescado fresco en hielo durante el transporte? ¿Qué implicación tiene para la industria pesquera?

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