

Del campo al refrigerador. Cómo la cadena de suministro decide la calidad y conservación de los alimentos

Norma Angélica Santiesteban López
norma.santiesteban@correo.buap.mx

Es bien sabido que los alimentos no llegan a nuestro paladar tan frescos como quisiéramos, por eso es importante determinar o calcular la vida útil. Para ello, debemos conocer que la vida útil se pierde en cada minuto de espera, o por cada grado de temperatura que se eleva, así como cada cambio de transporte y, por ende, por el registro de trazabilidad. La cadena de frío es importante para la conservación de los alimentos y debe entenderse como una condición importante a considerar para cuidar la calidad, inocuidad y reducción de pérdidas alimentarias (mermas) (Mercier *et al.*, 2017; Ndraha *et al.*, 2018; UNEP & FAO, 2022). Ahora bien, si imaginamos una caja de fresas recién cosechadas, un filete de pollo o un litro de leche tetrapack pasteurizada, en todos estos ejemplos, el consumidor suele preguntarse ¿El producto está fresco? ¿Ya caducó?, la respuesta depende de la trazabilidad que hayan tenido dichos alimentos, es decir, desde la obtención de la materia prima, hasta la elaboración y entrega del producto final, es importante que durante todo este proceso no se haya perdido la cadena de frío.

Para ello, se debería consultar el tiempo de demora para el enfriamiento, la temperatura que alcanzó durante el transporte, si este último tenía condiciones adecuadas (refrigeradores, congeladores) para el trayecto, retrasos en el transporte, registro del lote, y si el producto se exhibe en los establecimientos en condiciones adecuadas. En frutas altamente perecederas, como la fresa, la temperatura de almacenamiento influye directamente en firmeza, respiración, pérdida de peso, crecimiento microbiano y vida útil (Wang *et al.*, 2018; Błaszczuk *et al.*, 2022). La presencia de una amplia literatura científica coincide en que la cadena de suministro alimentaria no se limita a la compra, transporte o venta del alimento. Es bien sabido que, los alimentos perecederos requieren de un minucioso registro

de temperatura, tiempo, tipo de envase o empaque, información, entre otros factores. para evitar el deterioro de los alimentos para que de esta manera se puedan reducir pérdidas económicas, sanitarias y ambientales, así como reducir el desperdicio y mantener el valor nutricional. (Aung & Chang, 2014a; Shashi *et al.*, 2021; UNEP & FAO, 2022).

Cadena de suministro como sistema de conservación

Para la tecnología de alimentos, la calidad de los mismos es fundamental, esto debido a que los alimentos no permanecen estáticos después de su producción, va cambiando conforme avanza el tiempo. Para el caso de las frutas y verduras los procesos bioquímicos como la respiración y la pérdida de agua aceleran reacciones enzimáticas, oxidación y crecimiento de bacterias, mohos y levaduras. Por otra parte, en productos lácteos y alimentos listos para ser consumidos pequeñas desviaciones de temperatura pueden modificar características sensoriales y químicas como color, textura, aroma, acidez o estabilidad microbiológica. Un ejemplo muy peculiar son las fresas ya que, con el aumento de la temperatura, se acelera la pérdida de firmeza, azúcares, ácidos orgánicos, así como la proliferación microbiana, lo que deriva en una disminución de la vida útil (Wang *et al.*, 2018; Błaszczuk *et al.*, 2022). Por eso, hablar de cadena de suministro en alimentos no significa hablar solo de camiones y almacenes: también implica recurrir a otras áreas afines como biología, termodinámica, microbiología, empaque, información y toma de decisiones. Debido a lo anterior, la cadena de suministro puede explicarse como una carrera contra tres relojes:

1. Como primera instancia se tiene el reloj biológico, los alimentos perecederos se transforman sin que se toquen.
2. El segundo es el reloj logístico, cuando se espera en la recepción para el ingreso de la materia prima, transporte; cada retraso o transbordo suma minutos de exposición.
3. El tercero es el reloj informacional. Cuando no se conoce el número de lote, temperatura acumulada o el tiempo que estuvo fuera de rango.

La conservación de los alimentos ocurre cuando esos tres relojes se coordinan.

Algunos investigadores como Aung y Chang (2014a) enfatizan que el control de la temperatura debe considerar la diversidad de productos que se encuentran en almacenamiento y listos para su distribución. Es importante mencionar que no todos los alimentos tienen la misma sensibilidad, ya que algunos toleran temperaturas cercanas a los 0°C. Sin embargo, también hay alimentos sensibles al frío como el plátano, otros requieren de temperaturas de congelación, algunos alimentos procesados requieren controlar a la par temperatura y humedad. Para ello, la logística debe adaptarse para cada tipo de alimento, así como el tipo de empaque, vida útil esperada y el riesgo de producir Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA's) o potencialmente peligrosos. (Ver Figura 1)



Figura 1. Ejemplos de alimentos o productos que han roto la cadena de frío

Por otra parte, la cadena de frío no debe interpretarse como una línea perfecta, se debe considerar como un conjunto de puntos vulnerables. Mercier et al. (2017) identificaron diferentes etapas como el preenfriamiento, transporte, almacenamiento, exhibición minorista, así como en la refrigeración doméstica dónde hay zonas en las que suelen presen-

tarse desviaciones. Uno de los grandes problemas es la acumulación de diferentes causas que fomentan el deterioro de los alimentos o productos. (Badia-Melis et al., 2018; Shashi et al., 2021).

Tiempo y temperatura: el reloj invisible de la vida útil

Se dice que la temperatura es la variable silenciosa debido a que casi nunca se observa, sin embargo, suele modificar y acelerar todos los procesos deteriorativos, es decir, cuando el alimento o producto se mantiene dentro del rango de temperatura recomendado, los procesos bioquímicos como la respiración y el desarrollo de los microorganismos disminuyen. Al elevarse la temperatura, aunque sea por periodos cortos, se acelera el envejecimiento de los alimentos o productos. La industria alimentaria coloca una etiqueta de la fecha de caducidad estimada del alimento o producto, sin embargo, si se rompe la trazabilidad del proceso de almacenamiento o manipulación, se afecta el historial del alimento y esa fecha de caducidad deja de presentar de manera precisa la frescura real (Wang et al., 2018; Błaszczuk et al., 2022). Por otro lado, Mercier et al. (2017) documentaron estudios de campo y demostraron que las desviaciones ocurridas durante la trazabilidad del alimento pueden generar puntos críticos durante el preenfriamiento, en operaciones de carga y descarga, en transporte, en vitrinas de venta o en refrigeradores domésticos.

En una cadena ideal, el producto se enfría pronto, viaja en unidades estabilizadas, se almacena sin sobrecarga y se exhibe sin bloquear el flujo de aire. En la cadena real, los alimentos pasan por puertas que se abren, andenes sin control térmico, rutas con tráfico, equipos que no han sido calibrados y hogares donde el refrigerador se usa como almacén general. Investigadores como Ndraha et al. (2018) mencionan que abusar del tiempo-temperatura es uno de los puntos más críticos de la cadena fría debido a que no siempre se observan señales visibles de manera inmediata. Por ejemplo: el pescado puede oler de manera aceptable al momento de la recepción, pero pudo haber perdido horas de vida útil; una ensalada lista para consumo puede conservar apariencia fresca, pero acumular condiciones favorables para el desarrollo de los microorganismos; un lácteo puede llegar sin cambios externos, pero

con estabilidad reducida. El deterioro no siempre se anuncia en voz alta: a veces queda escondido en la historia térmica del producto.

En el caso de frutas sensibles como las fresas, el deterioro por calor puede observarse en factores sensoriales como pérdida de firmeza, zonas acuosas u oscurecidas, arrugamiento superficial y mayor susceptibilidad a pudriciones. No obstante, estos signos visibles indican que el producto ya acumuló un deterioro térmico desfavorable; por ello, la observación física debe complementarse con registros de tiempo y temperatura (Wang et al., 2018; Błaszczuk et al., 2022).

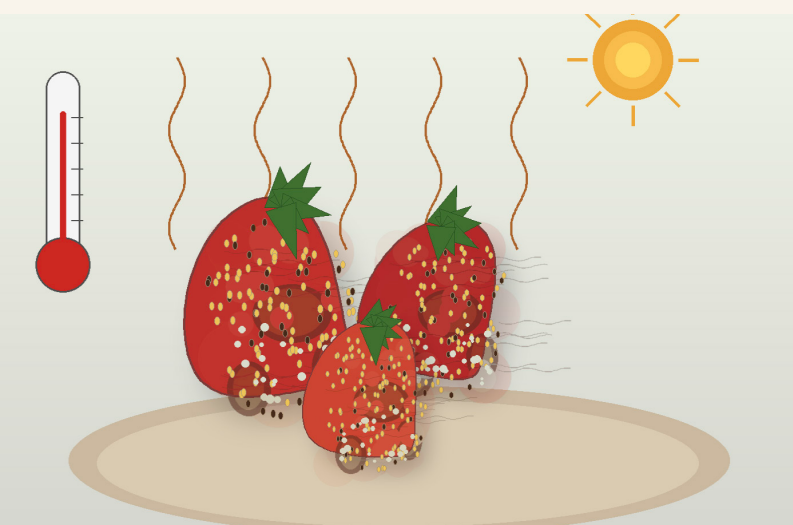


Figura 2. Ejemplo ilustrativo de deterioro visible en fresas asociado a abuso térmico: pérdida de firmeza, zonas oscurecidas y mayor susceptibilidad a daño poscosecha. Imagen ilustrativa de elaboración propia con base en Wang et al. (2018) y Błaszczuk et al. (2022).

Debido a lo anterior, la vida útil debería entenderse como una variable dinámica. Normalmente en un establecimiento de alimentos y bebidas se emplea el sistema PEPS “primeras entradas, primeras salidas”, no siempre basta. En productos altamente perecederos, puede ser más útil emplear el sistema FEFO: first expired, first out (por sus siglas en inglés), o “primero en caducar, primero en salir”. Aún mejor es, calcular con datos reales parámetros como tiempo y temperatura. (Badia-Melis et al., 2015; Badia-Melis et al., 2018).

La memoria científica del alimento: Trazabilidad

Se dice que la temperatura es el reloj y la trazabilidad es la memoria. Un alimento sin trazabilidad es como un paciente sin expediente clínico: se observa el estado actual, pero se desconoce su historia. Aung y Chang (2014b) explican que la trazabilidad permite rastrear el alimento y registrar información relevante para mantener la calidad e inocuidad. De igual manera, Bosona y Gebresenbet (2013) la describen como una parte integral de la gestión logística, porque captura, almacena y comunica información suficiente para rastrear y verificar un producto a lo largo de la cadena.

En términos concretos, significa saber de dónde proviene, a qué lote pertenece, cuál es el proceso por el que ha pasado, cuánto tiempo estuvo en cada etapa, quién lo manipuló y bajo qué condiciones se almacenó o transportó. Por lo tanto, la memoria del alimento o producto es súper importante en este proceso, debido a que, si un lote presenta contaminación, pérdida de calidad o sospecha de ruptura de la cadena de frío, la trazabilidad permite delimitar el problema. Sin ella, la empresa puede verse obligada a retirar más producto del necesario, perder confianza o no identificar la causa raíz. Con trazabilidad sólida, en cambio, es posible reconstruir rutas, ubicar puntos críticos y corregir procesos. La trazabilidad no evita por sí misma el deterioro, pero permite aprender de él y contenerlo.

Conservar sin desperdiciar recursos: Sensores, datos y sostenibilidad

Hoy en día, la conservación moderna exige observar lo que antes era invisible. Chen et al. (2022) describen la logística de cadena fría como un proceso sistemático que utiliza cuartos de baja temperatura para mantener la calidad e inocuidad, reducir pérdidas y, al mismo tiempo, enfrentar el costo ambiental de la refrigeración. Con esta afirmación, se corrobora que el enfriamiento de los alimentos es importante para su mantenimiento, y se deben respetar los rangos de temperatura para la conservación. Por otra parte, es importante el monitoreo microambiental ya que permite medir la temperatura real cerca del alimento, no solo la temperatura promedio del cuarto o del camión.

Para entender mejor supongamos el siguiente ejemplo: si se tienen dos cajas de producto o alimentos dentro del mismo transporte pueden vivir historias térmicas diferentes según la posición, ventilación, carga térmica o exposición durante apertura de puertas, por lo que la variabilidad que sufren las dos cajas explica por qué un producto puede deteriorarse antes que otro, aunque ambos tengan la misma fecha de caducidad. La calidad se decide en el microambiente inmediato del alimento, por lo que el uso combinado de redes inalámbricas de sensores y registradores de datos, la introducción de termopares al azar en un lote de alimentos o productos mejora la visibilidad de las desviaciones de temperatura que puedan sufrir, exponiéndolas para llevar un registro detallado, a diferencia de que anteriormente permanecían ocultas dichas variaciones de temperatura (Badia-Melis et al., 2015; Badia-Melis et al., 2018; Chen et al., 2022).

Las tecnologías digitales pueden apoyar esta transición. Sensores de temperatura y humedad, registradores de datos, códigos QR, RFID, Internet de las Cosas, inteligencia artificial y sistemas de alerta temprana permiten detectar desviaciones, priorizar lotes, ajustar rutas y reducir desperdicio. (Badia-Melis et al., 2018; Chen et al., 2022; UNEP & FAO, 2022).

Con base en la problemática expuesta en este apartado con respecto a una gestión deficiente de la cadena de suministro en la calidad y conservación de los alimentos, se plantea la siguiente pregunta: ¿qué se debe cambiar en la práctica?

La respuesta a la pregunta sería: para el caso de productores, procesadores y distribuidores, la primera recomendación es medir y registrar los datos, respetando la trazabilidad de los alimentos o productos. “No se puede mejorar una cadena que no registra sus condiciones críticas”. Por otra parte, medir la temperatura del producto, temperatura ambiental, tiempo de espera, ubicación del lote, apertura de puertas y calibración de equipos deberían formar parte de un sistema mínimo de control. La segunda recomendación es actuar sobre los puntos críticos como: la recepción, carga, descarga, andenes, exhibición y entrega final debido a que muchos deterioros no nacen en el almacén principal, sino en minutos aparentemente menores. Desde una perspectiva de gestión, estos registros permiten pasar de una logística reactiva a una logística predictiva, ca-

paz de anticipar pérdida de vida útil y reducir el desperdicio (Bosona & Gebresenbet, 2013; Badia-Melis et al., 2018; Shashi et al., 2021).

Asimismo, para minoristas y servicios de alimentos, la clave es combinar la rotación, capacitación y monitoreo, es decir, si un refrigerador se encuentra sobrecargado puede bloquear el flujo de aire; o una vitrina abierta puede crear zonas de temperatura no homogénea; una mala práctica del sistema PEPS puede mezclar productos con historias térmicas diferentes. La inocuidad y la calidad no dependen sólo de normas escritas, sino de rutinas operativas sostenidas. Sin embargo, para los consumidores la cadena no termina en la compra, se debe tomar en cuenta situaciones que pueden ocurrir durante el transporte de alimentos perecederos durante mucho tiempo sin protección térmica, abrir repetidamente el refrigerador, colocar productos calientes junto a alimentos fríos o ignorar instrucciones de almacenamiento también reduce la vida útil, lo cual se califica como una mala práctica en el manejo de los alimentos. Por ello, una decisión que se toma en casa que pudiera ser aparentemente sencilla, como es retrasar el enfriamiento de fresas o lácteos, puede acelerar cambios sensoriales de los alimentos, entre ellos textura, acidez, crecimiento microbiano o pérdida de frescura percibida (Wang et al., 2018; UNEP & FAO, 2022).

Debido a lo anteriormente mencionado, la conclusión científica de este estudio permite afirmar que la cadena de suministro influye en la calidad de los alimentos porque controla las condiciones que gobiernan su deterioro. La inclusión social es todavía más amplia: una cadena bien gestionada conserva nutrientes, sabor, textura, inocuidad, dinero y recursos naturales. En un mundo que necesita reducir pérdidas alimentarias y asegurar alimentos seguros, la logística ya no puede verse como una actividad secundaria. Es una forma aplicada de ciencia de los alimentos, gestión de datos y sostenibilidad operativa (Shashi et al., 2021; UNEP & FAO, 2022).

La frescura no aparece sola: se cuida paso a paso. En la cadena de frío, cada grado, cada hora y cada revisión hacen la diferencia.

REFERENCIAS

- Aung, M. M., & Chang, Y. S. (2014a). Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. *Food Control*, 40, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.016>
- Aung, M. M., & Chang, Y. S. (2014b). Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*, 39, 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.007>
- Badia-Melis, R., Ruiz-Garcia, L., Garcia-Hierro, J., & Villalba, J. I. R. (2015). Refrigerated fruit storage monitoring combining two different wireless sensing technologies: RFID and WSN. *Sensors*, 15(3), 4781–4795. <https://doi.org/10.3390/s150304781>
- Badia-Melis, R., Mc Carthy, U., Ruiz-Garcia, L., Garcia-Hierro, J., & Robla Villalba, J. I. (2018). New trends in cold chain monitoring applications: A review. *Food Control*, 86, 170–182. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.022>
- Błaszczuk, J., Bieniasz, M., Nawrocki, J., Kopeć, M., Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., Zaleski, T., Knaga, J., & Bogdał, S. (2022). The effect of harvest date and storage conditions on the quality of remontant strawberry cultivars grown in a gutter system under covers. *Agriculture*, 12(8), 1193. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081193>
- Bosona, T., & Gebresenbet, G. (2013). Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. *Food Control*, 33(1), 32–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.004>
- Chen, Q., Qian, J., Yang, H., & Wu, W. (2022). Sustainable food cold chain logistics: From microenvironmental monitoring to global impact. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(5), 4189–4209. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13014>
- Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2017). Time-temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 647–667. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12269>
- Ndraha, N., Hsiao, H. I., Vljajic, J. V., Yang, M. F., & Lin, H. T. V. (2018). Time-temperature abuse in the food cold chain: Review of issues, challenges, and recommendations. *Food Control*, 89, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.01.027>
- Shashi, S., Centobelli, P., Cerchione, R., & Ertz, M. (2021). Food cold chain management: What we know and what we deserve. *Supply Chain Management: An International Journal*, 26(1), 102–135. <https://doi.org/10.1108/SCM-12-2019-0452>
- United Nations Environment Programme, & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Sustainable food cold chains: Opportunities, challenges and the way forward. UNEP and FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0923en>
- Wang, W., Hu, W., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2018). Shelf-life prediction of strawberry at different temperatures during storage using kinetic analysis and model development. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(8), e13693. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13693>

