

**Impacto de las tecnologías emergentes no térmicas en la evaluación y control de calidad en
la industria alimentaria**

Daison Paez Trujillo

Asesor

Fernando Javier Calvo Silva

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI
Ingeniería de alimentos

2025

Dedicatoria

Dedico de manera especial a mi esposa quien es mi motivación, mi fortaleza y ser el impulso para ser mejor cada día. A todas las demás personas que hicieron parte de mi proceso formativo y quienes estuvieron presentes en cada etapa para poder culminar con mi carrera profesional.

Agradecimientos

En primer lugar, doy infinitas gracias a mi esposa por su apoyo incondicional, por su amor sincero, por ser mi inspiración y mi fortaleza en cada paso que he dado en mi vida. Agradezco a todos los docentes de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD que hicieron parte de mi proceso formativo y me brindaron sus conocimientos para crecer a nivel profesional.

Resumen

Debido al aumento de enfermedades transmitidas por alimentos insalubres y riesgos asociados a contaminantes, bacterias o sustancias químicas, la inocuidad alimentaria ha emergido como una medida esencial para promover la seguridad alimentaria y fortalecer las economías nacionales. Desde la producción hasta el consumo, el suministro garantizado de alimentos seguros es fundamental para la promoción del bienestar y la salud pública.

La industria alimentaria ha venido enfrentándose a una serie de problemáticas críticas que afectan tanto la calidad de los alimentos como la eficiencia del procesamiento. Eisenbrand (2005) afirma que, la degradación de nutrientes y propiedades sensoriales se genera a partir de la implementación de métodos tradicionales, que a menudo implican el uso de altas temperaturas que pueden degradar nutrientes esenciales, vitaminas y compuestos bioactivos en los alimentos. Así mismo, el uso de calor excesivo afecta directamente a las características sensoriales de los alimentos generando que se produzcan alimentos de baja calidad y por ende que estos tengan menor aceptación por parte de los consumidores.

La demanda del consumidor por alimentos con altos estándares sensoriales, nutricionales y microbiológicos reta a la industria a investigar y aplicar las tecnologías de conservación de alimentos. Las tecnologías de conservación de alimentos tradicionales se destacan por la inactivación de microorganismos patógenos y alterantes, preservación de la calidad nutricional y sensorial de los alimentos y mejorar la conservación de productos perecederos.

Sin embargo, debido a que las tecnologías tradicionales de conservación en alimentos aplican temperaturas de alta densidad para inhibir el aumento de microorganismos, produce pérdidas en la calidad sensorial y nutricional de los alimentos.

Como consecuencia, en la búsqueda por garantizar alimentos inocuos y mínimamente tratados, la industria alimentaria ha optado por implementar tecnologías emergentes no térmicas que garanticen preservar la calidad y la seguridad de los alimentos, y satisfacer las demandas de los consumidores por productos más naturales y saludables. Por ende, la presente monografía tiene como objetivo general evaluar el impacto de las tecnologías emergentes no térmicas utilizadas en la industria alimentaria identificando su efecto en la calidad sensorial, nutricional y microbiológica de los alimentos.

Palabras Claves: Tecnologías emergentes no térmicas, conservación de alimentos, inocuidad alimentaria, seguridad alimentaria, microbiología alimentaria.

Abstract

Due to the increase in foodborne illnesses and risks associated with contaminants, bacteria, or chemicals, food safety has emerged as an essential measure for promoting food security and strengthening national economies. From production to consumption, ensuring the supply of safe food is essential to promoting public health and well-being.

The food industry deals with several critical issues affecting food quality and processing efficiency. Eisenbrand (2005) state that the degradation of nutrients and sensory properties due to traditional methods. These methods often involve high temperatures that can degrade foods' essential nutrients, vitamins, and bioactive compounds. Likewise, excessive heat directly affects the sensory characteristics of food, leading to lower-quality products that are less acceptable to consumers.

Consumer demand for foods with high sensory, nutritional, and microbiological standards is challenging the industry to research and apply food preservation technologies. Traditional food preservation technologies are known for inactivating pathogenic and spoilage microorganisms, preserving the nutritional and sensory quality of foods, and improving the shelf life of perishable products.

However, because traditional food preservation technologies apply high-density temperatures to inhibit the growth of microorganisms, they result in losses in the sensory and nutritional quality of foods.

As a result, in the quest to ensure safe and minimally treated food, the food industry has turned to emerging non-thermal technologies that preserve food quality and safety while meeting consumer demand for more natural and healthier products. The general objective of this

monograph is to evaluate the impact of emerging non-thermal technologies used in the food industry, focusing on their effect on sensory, nutritional, and microbiological food quality.

Keywords: Emerging non-thermal technologies, food preservation, food Safety, food security, food microbiology.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Planteamiento del Problema.....	13
Pregunta de Investigación	15
Justificación	16
Objetivos.....	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos.....	18
Marco Referencial.....	19
Marco Conceptual.....	19
Marco Teórico.....	21
Introducción de las Tecnologías Emergentes No Térmicas en la Industria Alimentaria ..	21
Definición de Tecnologías Emergentes No Térmicas.....	22
Aplicaciones Futuras de las Tecnologías Emergentes No Térmicas	23
Aplicación de las Tecnologías Emergentes No Térmicas en el Control de Calidad Sensorial, Nutricional y Microbiológica de los Alimentos.....	24
Ventajas y Desventajas de Implementar Tecnologías Emergentes No Térmicas en Términos de Costos, Sostenibilidad y Aceptación del Consumidor.....	43
Métodos Convencionales de Conservación de Alimentos.....	44
Conclusiones	51
Perspectivas.....	53
Referencias Bibliográficas	54

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Aplicaciones de la Alta Presión Hidrostática en la Industria Alimentaria</i>	27
Tabla 2 <i>Inactivación de Microorganismos mediante la Aplicación de Pulsos Eléctricos</i>	29
Tabla 3 <i>Plasma Frío en la Inactivación de Microorganismos</i>	35
Tabla 4 <i>Dosis de Irradiación Gamma de acuerdo con el Microorganismo</i>	37
Tabla 5 <i>Efectos de la Irradiación en los Alimentos</i>	38
Tabla 6 <i>Ventajas y Desventajas de las Tecnologías Emergentes No Térmicas</i>	47

Introducción

La inocuidad alimentaria es un pilar de la salud pública y un elemento clave en la gestión de la calidad. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024) la señala como prioridad para consumidores, productores y gobiernos de todas las naciones. En Colombia, garantizarla constituye uno de los mayores retos debido al crecimiento poblacional, la evolución de los hábitos de consumo, la globalización del comercio de alimentos y la intensificación de los sistemas agropecuarios (Lara, 2008).

La globalización y la exigencia de los consumidores encaminados al cumplimiento de seguridad y calidad de los productos alimenticios obligan a la industria alimentaria a mantener las características sensoriales y nutricionales de los alimentos. Según Gálvez (2006) para la industria, el control de los alimentos abarca aspectos como la inocuidad, nutrición y calidad que permiten mantener determinados niveles de nutrientes en los ingredientes alimentarios y la formulación de alimentos con perfiles nutricionales que fomenten el interés de los consumidores por la alimentación sana.

La industria alimentaria ha demostrado un compromiso creciente con la seguridad alimentaria, reforzando el control de inocuidad y calidad de los alimentos dentro de los procesos de la cadena de suministros, invirtiendo en tecnología, capacitación, y procesos de mejora.

Sin embargo y pese a la automatización de procesos y cumplimiento de normatividad emitida por los diferentes entes de control, la industria alimentaria ha venido enfrentándose a una serie de problemáticas críticas que afectan tanto la calidad de los alimentos como la eficiencia del procesamiento. Eisenbrand (2005) afirma que estas problemáticas incluyen la degradación de nutrientes y propiedades sensoriales a partir de la implementación de métodos tradicionales de procesamiento térmico, que pueden degradar nutrientes esenciales, vitaminas y compuestos

bioactivos en los alimentos, afectando directamente a las características sensoriales de los alimentos, generando que se produzcan alimentos de baja calidad y por ende que estos tengan menor aceptación por parte de los consumidores.

La contaminación física, química y biológica de los alimentos puede causar enfermedades en el consumidor. “La contaminación biológica puede resultar ser la más significativa ya que causa la mayoría de las enfermedades transmitidas por alimentos a nivel global” (Khan et al., 2016).

Las tecnologías emergentes no térmicas de procesamiento de alimentos han surgido a partir de la necesidad de satisfacer las demandas del consumidor, sin comprometer la inocuidad alimentaria. Por ende, “el mayor reto en la aplicación de tecnologías no térmicas es evitar la pérdida de calidad nutricional y conservar la frescura de los productos (Peña González et al., 2019).

De acuerdo con Jadhav y Deshmukh (2021) las tecnologías emergentes no térmicas ofrecen la posibilidad de producir alimentos de mayor calidad y con una vida útil más prolongada. Al prescindir del uso de calor, estas tecnologías permiten inactivar microorganismos con un impacto mínimo en las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos, siempre que se apliquen parámetros de procesamiento adecuados.

En el presente documento se analiza el impacto de las tecnologías emergentes no térmicas utilizadas en la industria alimentaria en el control de calidad de los alimentos, La revisión bibliográfica se llevó a cabo mediante la consulta sistemática de múltiples bases de datos académicas, tales como, SciELO, Scopus, ScienceDirect, Google Scholar, EBSCO y Dialnet. Los criterios de selección priorizaron estudios publicados en los últimos diez años

redactados en español e inglés que fueran relevantes al tema de inocuidad y calidad de alimentos, así como literatura fundamental que sustentará las tecnologías emergentes no térmicas.

Planteamiento del Problema

En la actualidad, el mercado global ha evidenciado un aumento en la exigencia de los consumidores encaminados al cumplimiento de seguridad y calidad de los productos alimenticios. Por ejemplo, Gálvez (2006) indica que los consumidores de países desarrollados expresan una demanda efectiva de alimentos sanos y de calidad, es decir, sus preferencias alimentarias se traducen en una voluntad de pagar más por los atributos añadidos. Así mismo, menciona que en los mercados tradicionales de Latinoamérica es común observar cómo los padres transmiten a sus hijos el conocimiento para identificar piñas maduras por su aroma o seleccionar tomates con buen color y firmeza al tacto.

Debido a esto, la industria alimentaria se ha visto en la necesidad de implementar tecnologías que permitan garantizar la inocuidad y calidad de los alimentos. Según un estudio de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI, 2019), el 85% de los consumidores colombianos consideran que la seguridad alimentaria es un factor crucial al momento de comprar alimentos.

La industria alimentaria enfrenta una alta competencia y está en continuo cambio, impulsada por la creciente demanda de los consumidores de alimentos que no solo sean nutritivos y libres de aditivos, sino que también contengan compuestos funcionales y presenten excelentes propiedades sensoriales.

Según una investigación de la Fundación Universitaria Konrad Lorenz (Neira García & Londoño Bedoya, 2019) de cada 100 colombianos, el 63,73% opta por consumir productos orgánicos. Así mismo, según el Índice Tetra Pak (2023), indica que el 66% de los consumidores presta más atención a lo que consumen en términos de alimentos y bebidas, reflejando una mayor preocupación por su bienestar físico.

Además, un estudio de Innova Market Insights (2024) revela que el 61% de los consumidores considera que las declaraciones de propiedades saludables en los productos influyen significativamente en sus decisiones de compra y el 36% opta por alimentos frescos y naturales. Estos datos reflejan un interés creciente en alimentos saludables y seguros.

Por otro lado, el Instituto Nacional de Salud (INS, 2020) reportó un aumento del 30% en los casos de enfermedades transmitidas por alimentos entre 2015 y 2020, lo que ha motivado a los consumidores a adoptar decisiones alimentarias ser más cautelosas.

No obstante, la industria alimentaria se ha enfrentado a diversos desafíos durante la producción, almacenamiento y distribución que afectan la calidad e inocuidad de los alimentos. Huang et al. (2017), afirma que, a partir de la implementación de métodos tradicionales de procesamiento térmico, se evidencia la degradación de nutrientes, vitaminas y características sensoriales de los alimentos, generando que se produzcan alimentos de baja calidad nutricional.

La industria alimentaria se enfrenta al riesgo de contaminación microbiológica, que puede tener graves consecuencias para los consumidores. “Los contaminantes microbianos, como bacterias, virus y parásitos, constituyen una amenaza importante para la seguridad y la calidad de los productos alimenticios” (Caballero Figueroa & Terrés, 2022).

Según Jadhav y Deshmukh (2021), la demanda del consumidor por alimentos con excelentes características sensoriales, nutricionales y microbiológicas reta a la industria alimentaria a desarrollar procesos que generen productos que cumplan con estas características, lo que ha contribuido a la investigación y aplicación de tecnologías de conservación de alimentos.

De acuerdo con Castro Ríos (2011), las tecnologías de conservación de alimentos por aumento de temperatura más comunes son la pasteurización (P), la esterilización y escaldado.

Estas tecnologías se destacan por la inactivación de microorganismos patógenos y alterantes, preservación de la calidad nutricional y sensorial de los alimentos y mejorar la conservación de productos perecederos.

Sin embargo, Ortiz Rodríguez et al. (2022) indica que debido a que las tecnologías tradicionales de conservación en alimentos aplican temperaturas de alta densidad para disminuir la tasa de reproducción de microorganismos, puede alterar los alimentos durante su acopio, teniendo en cuenta que el calor aplicado produce pérdidas en la calidad sensorial y nutritivas.

Por lo tanto, en la búsqueda por garantizar alimentos inocuos y mínimamente tratados, la industria alimentaria se ha enfocado en el uso de las tecnologías emergentes no térmicas. Las tecnologías emergentes no térmicas surgen como una alternativa a las tecnologías convencionales para tratar los alimentos. Según Hernández Hernández et al. (2019), las tecnologías no térmicas se pueden interpretar como un proceso que produce la inactivación o reducción de su carga microbiana sin depender del procesamiento térmico.

En la industria alimentaria, las tecnologías no térmicas ofrecen una alternativa para obtener alimentos de mayor calidad y aumentar la vida útil de estos. Estas tecnologías actúan alterando estructuras clave de los microorganismos, como sus membranas celulares, proteínas esenciales y materiales genéticos, lo que provoca daños irreversibles que conducen a la inactivación de microorganismos con una mínima alteración de las propiedades sensoriales y nutricionales, siempre y cuando se ajusten los parámetros de procesamiento adecuados a cada tipo de alimento.

Pregunta de Investigación

¿Cuál es el impacto de la implementación de tecnologías emergentes no térmicas en la mejora de la seguridad alimentaria?

Justificación

En un mundo globalizado y diversificado, donde se presenta la exportación e importación de alimentos desde diversas partes del mundo, la inocuidad alimentaria ha emergido como un componente crítico para proteger la salud y el bienestar de la población. La seguridad alimentaria, que inicialmente se consideraba como una respuesta a necesidades nutricionales básicas, se ha convertido en un componente indispensable para garantizar el bienestar y calidad de vida. “Desde la producción hasta el consumo, el suministro garantizado de alimentos seguros es fundamental para la promoción del bienestar y la salud pública” (Díaz Avilés, 2023)

Rodríguez Quinchía y Ospina (2019), destacan la responsabilidad que tiene la industria alimentaria con los consumidores, por lo que es indispensable que la industria garantice la inocuidad y calidad de los procesos que permita obtener productos alimenticios que no perjudiquen la salud de los consumidores, sino que por el contrario satisfagan las necesidades de los clientes.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024) se estima que cada año enferman en el mundo unos 600 millones de personas, casi 1 de cada 10 habitantes por ingerir alimentos contaminados y que 420.000 mueren por esta misma causa. Debido a la ingestión de alimentos contaminados, se ha evidenciado un deterioro en la salud de las personas afectadas. “Los alimentos insalubres plantean amenazas para la salud a escala mundial y ponen en peligro la vida de todos: los lactantes, los niños pequeños, las embarazadas, las personas mayores y las personas con enfermedades subyacentes son particularmente vulnerables.” (OMS, 2020)

Teniendo en cuenta lo anterior, la industria alimentaria se ha visto en la obligación de reforzar los sistemas de inocuidad y calidad, haciendo énfasis en el control de materias primas, procesos y productos. “Con el objetivo de obtener alimentos inocuos, la industria alimentaria se

ha enfocado en implementar tecnologías emergentes no térmicas, que permiten ofrecer soluciones innovadoras que abordan varios desafíos clave en el procesamiento y conservación de alimentos” (Caballero Figueroa & Terrés, 2022).

Paucar Menacho et al. (2024) afirma que, las tecnologías emergentes no térmicas permiten desarrollar productos más saludables y seguros para el consumidor, debido a que aporta en la preservación de la calidad nutricional y sensorial, y prolonga la vida útil de los productos. A su vez, el procesamiento no térmico promueve prácticas más sostenibles y eficientes en la industria alimentaria, debido a su contribución en la reducción del agua, disminución de emisiones y reducción del desperdicio de alimentos.

Soleno Wilches, (2015) indica que las tecnologías emergentes no térmicas son fundamentales para la industria alimentaria, teniendo en cuenta que su implementación permite satisfacer las necesidades de los consumidores, contribuyendo a mejorar la calidad de los productos hasta la sostenibilidad y eficiencia operativa.

Por lo anterior, esta monografía analiza el potencial de las tecnologías emergentes no térmicas frente a los métodos térmicos tradicionales para mejorar la calidad, la inocuidad y la conservación de nutrientes en los alimentos, algo crucial en un contexto donde los consumidores demandan alimentos saludables y de alta calidad.

Esta investigación proporciona un análisis detallado de las tecnologías emergentes no térmicas, su funcionamiento y aplicaciones en la industria, resaltando sus ventajas y desventajas. Los resultados ofrecerán un marco comparativo útil para la industria y la comunidad académica, facilitando la toma de decisiones fundamentadas sobre la adopción de tecnologías no térmicas. La monografía complementa la literatura existente y sugiere líneas futuras de investigación.

Objetivos

Objetivo General

Investigar el impacto de las tecnologías emergentes no térmicas utilizadas en la industria alimentaria sobre el control de calidad e inocuidad de los alimentos.

Objetivos Específicos

Indagar las principales tecnologías emergentes no térmicas utilizadas en la industria alimentaria y su aplicación en el control de calidad.

Analizar el efecto de las tecnologías emergentes no térmicas en la calidad sensorial, nutricional y microbiológica de los alimentos, comparándolas con métodos tradicionales de conservación.

Determinar las ventajas y desventajas de implementar tecnologías emergentes no térmicas en términos de costos, sostenibilidad y aceptación del consumidor.

Marco Referencial

Marco Conceptual

Las tecnologías emergentes no térmicas en la industria alimentaria son métodos de procesamiento que no implican el uso de calor para la conservación y mejora de los alimentos. De acuerdo con Soleno Wilches, (2015) estas tecnologías representan un conjunto de técnicas que permiten la conservación y transformación de alimentos sin la aplicación de calor, lo cual es fundamental para mantener la calidad, el valor nutricional y las características sensoriales de los productos. Entre estas tecnologías se encuentran:

Ultrasonido. Utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para generar cavitación en los líquidos, lo que puede llevar a la ruptura de células y mejorar la extracción de compuestos bioactivos. Este proceso se puede aplicar en la producción de aceites esenciales, la extracción de antioxidantes y la mejora de la emulsificación en salsas y aderezos. Además, el ultrasonido puede ayudar en la desinfección de alimentos y en la mejora de la textura en productos cárnicos. (López et al., 2018).

Alta Presión Hidrostática (APH). Es un método que aplica presiones de hasta 600 MPa para inactivar microorganismos patógenos y prolongar la vida útil de los alimentos. La alta presión hidrostática afecta las membranas celulares de los microorganismos alterando la permeabilidad y la integridad de las membranas, lo que provoca fugas de nutrientes y disfunción celular. Así mismo, las presiones elevadas inducen la desnaturalización de proteínas, afectando funciones vitales como el metabolismo y la replicación.

Este proceso se lleva a cabo a temperatura ambiente, lo que ayuda a preservar las propiedades organolépticas y nutricionales de los productos. La APH es particularmente útil en la conservación de jugos, productos lácteos y alimentos listos para consumir. (Rico et al., 2020).

Irradiación. Implica el uso de radiación ionizante, como rayos gamma o electrones, para eliminar microorganismos y plagas. Este proceso no genera residuos químicos y puede extender significativamente la vida útil de los alimentos frescos, como frutas y verduras. La irradiación también puede ser utilizada para desinfectar productos cárnicos y mejorar la seguridad alimentaria. (Vargas et al., 2017).

Osmosis Inversa. La osmosis inversa es un proceso de separación que utiliza membranas semipermeables para remover solutos y concentrar líquidos. Este proceso consiste en aplicar presión a una solución para forzar el paso del líquido a través de una membrana semipermeable. La membrana permite el paso de agua pura, pero bloquea partículas más grandes, como microorganismos (bacterias, virus, hongos) y contaminantes. En la industria alimentaria, se aplica para la concentración de jugos, la producción de lácteos y la purificación de agua. Este método permite mantener las características sensoriales y nutricionales de los productos, a diferencia de los métodos térmicos que pueden alterar su calidad. (González & Pérez, 2019).

Luz Pulsada. Es una técnica que utiliza campos eléctricos de alta intensidad para desinfectar alimentos y mejorar la extracción de compuestos. La electricidad pulsada genera poros en las membranas celulares de los microorganismos (electroporación), lo que compromete su integridad y provoca pérdida de funciones vitales.

Este método puede ser efectivo en la reducción de microorganismos y la preservación de características sensoriales, lo que lo convierte en una opción prometedora para la industria. (Martínez et al., 2021)

Marco Teórico

Introducción de las Tecnologías Emergentes No Térmicas en la Industria Alimentaria

Según Zhu et al. (2020), en las últimas décadas, las tecnologías no térmicas han cobrado protagonismo como alternativas innovadoras para conservar los alimentos y mejorar su calidad. Entre estas tecnologías se encuentran la alta presión, el ultrasonido, la irradiación y los campos eléctricos pulsados, las cuales permiten el procesamiento de alimentos sin recurrir a altas temperaturas. Este enfoque ayuda a mantener intactos los nutrientes y las características sensoriales de los productos.

La historia de las tecnologías emergentes no térmicas en la industria alimentaria se remonta a los avances en conservación de alimentos a principios del siglo XX. En esta época, la investigación sobre métodos alternativos a la pasteurización convencional comenzó a ganar impulso. “En los años 30, se exploraron técnicas como la conservación por radiación, aunque su aplicación fue limitada debido a preocupaciones sobre la seguridad y la aceptación del consumidor” (Miller & Sahu, 2018).

Durante las décadas de 1980 y 1990, el interés en métodos de conservación no térmicos se reactivó gracias al avance de la física y la biotecnología. En este contexto, Balasubramaniam y Barbosa Cánovas (2020) indican que se desarrolló la pasteurización por alta presión, una técnica capaz de eliminar microorganismos patógenos a temperaturas significativamente más bajas que las de los métodos térmicos convencionales. Esta innovación no solo fortaleció la seguridad alimentaria, sino que también permitió conservar de manera más efectiva el sabor y los nutrientes de los alimentos.

Con el avance del siglo XXI, el uso de tecnologías como los campos eléctricos pulsados y el ultrasonido se consolidó en la industria alimentaria. Zhu et al. (2020) afirma que estas técnicas

se adoptaron debido a sus ventajas, entre las que destaca la reducción de los tiempos de procesamiento y su menor impacto en la calidad del producto. Así mismo, menciona que el tratamiento por microondas es efectivo para eliminar patógenos en alimentos líquidos y sólidos, contribuyendo a la seguridad alimentaria mientras preserva las características sensoriales de los productos.

Actualmente, estas tecnologías se emplean no solo para la conservación de alimentos, sino también para optimizar la seguridad alimentaria y reducir los desperdicios. Por ejemplo, Téllez et al. (2021) indica que la tecnología de pulsos eléctricos ha mostrado eficacia en la eliminación de microorganismos patógenos, aumentando así la seguridad de productos como carnes y lácteos. La integración de estas tecnologías en la industria alimentaria representa una respuesta innovadora a los desafíos contemporáneos de sostenibilidad y salud pública.

Definición de Tecnologías Emergentes No Térmicas

“Las tecnologías emergentes no térmicas se definen como métodos de procesamiento de alimentos que no utilizan calor para alcanzar objetivos de conservación, seguridad o calidad. Las técnicas más comunes incluyen la alta presión, la radiación, el tratamiento con microondas, y los campos eléctricos pulsados” (Zhang et al., 2021).

Según Zhao y Liu (2019) indica que estas tecnologías ofrecen métodos eficientes para eliminar patógenos y microorganismos sin comprometer la integridad del alimento. Al mejorar la seguridad alimentaria y reducir la carga microbiana, se puede extender la vida útil de los productos. Esto no solo minimiza el desperdicio de alimentos, sino que también mejora la sostenibilidad en la cadena de suministro alimentaria.

“El objetivo principal de estas tecnologías es sustituir las técnicas tradicionales de procesamiento para fabricar alimentos de mayor calidad, adaptados a las preferencias de los

consumidores” (Priyadarshini et al., 2018). De acuerdo con Hernandez Hernandez et al. (2019), estas tecnologías se consideran alternativas viables puesto que provocan un daño mínimo a las propiedades nutricionales y sensoriales del producto final”. Así mismo, “estas opciones ofrecen enfoques innovadores que pueden preservar la conservación de los compuestos bioactivos y el valor nutritivo de los productos alimentarios” (Chakka et al., 2021).

Sin embargo, “la implementación de estas tecnologías también presenta desafíos, como el alto costo inicial de inversión y la necesidad de adaptaciones en la infraestructura de procesamiento” Además, es crucial la estandarización de los procedimientos para asegurar resultados consistentes y seguros. (Zhao & Liu, 2019).

Aplicaciones Futuras de las Tecnologías Emergentes No Térmicas

Las Tecnologías Emergentes No Térmicas en la industria alimentaria se han destacado por brindar alternativas innovadoras para el procesamiento y conservación de alimentos. Estas tecnologías prometen el desarrollo de alimentos más frescos, naturales y nutritivos basado en el mejoramiento de la producción de estos con un enfoque en la innovación, la sostenibilidad y la seguridad alimentaria.

Según Paucar Menacho et al. (2024), las tecnologías emergentes no térmicas garantizan la preservación de las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos, contribuyendo al desarrollo de productos mínimamente procesados, reduciendo la dependencia de pesticidas. Así mismo, estas tecnologías permiten la creación de alimentos con perfiles nutricionales precisos, adaptados a las necesidades específicas de los consumidores.

Barbosa Cánovas y Bermúdez Aguirre (2010) afirman que tecnologías como el ultrasonido y la alta presión hidrostática tienen la capacidad de modificar la estructura de las

proteínas y polisacáridos, lo que permite el desarrollo de alimentos innovadores con texturas, sabores y funcionalidades mejoradas.

Del mismo modo, Barbosa Cánovas y Bermúdez Aguirre (2010) indican que la sinergia entre biotecnología y tecnologías no térmicas facilitará la producción de ingredientes y aditivos naturales que impulsen la creación de alimentos con propiedades nutricionales mejoradas y más eficientes.

Por lo tanto, la implementación y combinación de las tecnologías emergentes no térmicas con otras técnicas de procesamiento como la nanotecnología y la biotecnología permitirán el desarrollo de alimentos innovadores que garanticen la calidad de los alimentos, optimización de procesos y reducción de costos.

Aplicación de las Tecnologías Emergentes No Térmicas en el Control de Calidad Sensorial, Nutricional y Microbiológica de los Alimentos

Convencionalmente, la industria alimentaria somete a los alimentos a tratamientos térmicos clásicos que se caracterizan por la aplicación de calor a una temperatura y durante un tiempo específico. “Dependiendo de la intensidad del calor, estos tratamientos se clasifican en pasteurización (65 - 90 °C), esterilización (110 - 121 °C) y temperatura ultraalta (140 - 160 °C)” (Chantakun & Benjakul, 2022) “Aunque estos tratamientos térmicos clásicos son efectivos para eliminar patógenos, reducir microorganismos y aumentar la vida útil de los productos alimenticios” (Augusto, 2022), también “afectan negativamente las características sensoriales, los sabores y el contenido nutricional de los alimentos” (Pauca Menacho et al., 2024)

Como consecuencia, investigadores de la industria alimentaria han explorado el uso de diversas tecnologías para prevenir los efectos negativos que causa la aplicación de los procesamientos convencionales, enfocados a su vez, en lograr la estimulación de la síntesis de

compuestos bioactivos y antioxidantes. Poonia et al. (2022) afirma que estas tecnologías ofrecen la posibilidad de controlar la maduración, reducir la contaminación por agentes dañinos y prolongar los beneficios nutraceuticos en procesos primarios como el congelado, picado, trozado y pelado.

Por ejemplo, según un estudio realizado por Figueroa Sepúlveda et al. (2021) donde evaluó la aplicación de altas presiones hidrostáticas en frutas como alternativa de tratamientos térmicos convencionales, concluyó que la combinación de ultrasonido con alta presión hidrostática a 450 MPa durante 10 minutos a 25 °C permitió inactivar completamente enzimas como la polifeniloxidasas, peroxidasas y pectinmetilesterasas, las cuales son las responsables del deterioro de las propiedades fisicoquímicas en la elaboración del jugo de manzana.

A su vez, Velásquez Estrada et al. (2012) en su investigación sobre el impacto de la alta presión hidrostática en la actividad de la pectina metilesterasa y las características microbianas del jugo de naranja, afirmaron que respecto a los compuestos bioactivos y actividad antioxidante en zumos de naranja, encontraron diferencias significativas entre la aplicación de la alta presión hidrostática y la pasteurización, reportando que el zumo de naranja en fresco presentó el mismo valor nutricional en cuanto a la capacidad antioxidante que el tratado con alta presión hidrostática mientras que el zumo pasteurizado presentó valores más bajos.

La industria alimentaria ha adoptado diferentes técnicas no térmicas efectivas, como el campo eléctrico pulsado (PEF), el ultrasonido, el plasma frío, el procesamiento a alta presión hidrostática (APH), irradiación y luz pulsada. “Todas estas técnicas mantienen la calidad original de los alimentos, superan la pérdida de nutrientes y tienen un bajo consumo de energía en comparación con los sistemas convencionales” (Nabi et al., 2021)

A continuación, se documentan las tecnologías emergentes no térmicas actuales que permiten la conservación de compuestos bioactivos en alimentos, describiendo sus aportes en la conservación y control de calidad sensorial, nutricional y microbiológica de los alimentos.

Alta Presión Hidrostática (APH). La alta presión hidrostática (APH), también denominada pascalización, presurización o alta presión, es una tecnología de gran interés en la industria de los alimentos debido a que es efectiva en la conservación de estos. El tratamiento aplica una presión, entre 100 - 1000 MPa, sobre un líquido que contiene el producto que va a ser sometido al tratamiento. El líquido que se utiliza por lo general es agua, por su baja compresibilidad.

Ríos Corripio et al. (2020), indica que en esta tecnología la presión es aplicada de manera uniforme y al instante, resaltando que la variación de la temperatura es poca a medida que aumenta la presión, evitando que el alimento se deforme o alcance elevadas temperaturas, lo cual no modifica las propiedades sensoriales de los alimentos.

“En esta técnica, se aplica alta presión a alimentos sólidos o líquidos para mejorar su seguridad, atributos organolépticos y calidad” (Nabi et al., 2021). La alta presión hidrostática funciona según el principio isostático, que establece que diferentes medios como agua o aceite aplican una presión constante a la muestra. Esta tecnología altera la permeabilidad y la integridad de las membranas de los microorganismos, lo que provoca fugas de nutrientes y disfunción celular. A su vez, las presiones elevadas inducen a la desnaturalización de proteínas afectando la replicación.

“Se ha demostrado que la alta presión hidrostática permite la extensión de la vida útil, la eliminación de patógenos y la conveniencia de la etiqueta limpia al tiempo que proporciona alimentos naturales y seguros a los consumidores” (Nabi et al., 2021). Las altas presiones

hidrostáticas, se aplican a alimentos previamente envasados, preferiblemente al vacío. El envase debe tener sellado con cierre hermético, que no permita pasar ningún fluido del alimento y debe ser resistente e impermeable al agua.

Según Tellez et al. (2001) la aplicación de APH en melocotones y peras, permite la esterilización durante al menos 5 años. Peras y kiwis adquieren una textura más blanda, se vuelven más transparentes y dulces. Tanto colores, como sabores y olores, no se ven afectados por la APH.

La alta presión hidrostática se ha utilizado en diferentes categorías de alimentos, como verduras, frutas, lácteos, carne, mariscos, mermeladas, salsas, purés, jugos y la industria pesquera para diferentes propósitos. A continuación, se describe algunas aplicaciones de la APH en la industria alimentaria.

Tabla 1

Aplicaciones de la Alta Presión Hidrostática en la Industria Alimentaria

Aplicaciones	Condiciones de Tratamiento	Muestra de Comida	Efectos del Tratamiento
Procesamiento de Carne	175–600 MPa, 3–5 minutos,	Carne, productos cármicos y mariscos	Se observó un efecto mínimo en los nutrientes y las características sensoriales. Se ralentizó el crecimiento microbiano y se redujo la tasa de actividad de las bacterias que provocan el deterioro.
Reducción Microbiana	300–600 MPa, 5–10 minutos	Carne, jugos, productos lácteos.	Provocó reducciones significativas de microbios en los alimentos, es decir, una reducción de aproximadamente 1,6 a 5 log.
Extracción	250–500 MPa, 5–15 minutos	Semillas, frutas, verduras, plantas, cereales.	Los rendimientos de extracción se mejoraron con APH en comparación con el método convencional.

Aplicaciones	Condiciones de Tratamiento	Muestra de Comida	Efectos del Tratamiento
Pretratamiento	200–300 MPa, 2–6 minutos	Carne, frutas, verduras	El APH como pretratamiento mejoró los atributos texturales, nutricionales y sensoriales.
Tratamiento de Semillas	200–400 MPa, 10–60 min 20–60 °C	Granos de moringa oleifera, albahaca, semillas de chía	La APH mejoró la extracción de aceite, así como la estructura de las semillas.

Nota. Resultados de la aplicación de alta presión hidrostática en la industria alimentaria. Tomado de. Procesamiento de alta presión para el suministro sostenible de alimentos. Nabi et al. (2021). <https://doi.org/10.3390/su132413908>

Campo Eléctrico Pulsado (PEF). La aplicación del campo eléctrico pulsado (PEF) en el procesamiento de alimentos permite limitar la exposición a altas temperaturas y reducir la necesidad de aditivos alimentarios. La tecnología de campo eléctrico pulsado “aplica pulsos eléctricos de alta intensidad para inactivar microorganismos, manteniendo las propiedades organolépticas de los alimentos” (Téllez et al., 2021).

Según Vivanco et al. (2021) en el campo eléctrico pulsado, se expone los alimentos a pulsos eléctricos generando poros en la membrana celular, conocido como electroporación. La electroporación promueve la inactivación de organismos patógenos y reduce la actividad enzimática, permitiendo mantener el color, sabor y contenido de compuestos antioxidantes de los alimentos. Así mismo, permite mantener las cualidades organolépticas de los alimentos favoreciendo a una mayor aceptación por parte de los consumidores.

Vivanco et al. (2021) indica que en los alimentos sólidos se ha aplicado la técnica de pulsos eléctricos, sin embargo, no ha sido tan eficiente como en los alimentos líquidos, usando únicamente la técnica en la actualidad para la liberación de azúcares o la extracción de elementos bioactivos.

Pineda Posadas et al. (2022) afirma que los campos eléctricos pulsados son una técnica que ha demostrado ser eficiente por un efecto de electroporación en las células, teniendo en cuenta que la destrucción de la membrana puede ser permanente en función de la etapa de crecimiento de los microorganismos y la concentración celular, así como, la intensidad y duración del tratamiento eléctrico.

La implementación del campo eléctrico pulsado se destaca por presentar una temperatura de tratamiento más baja, un tiempo de procesado menor, disminución en el consumo de energía y mejora la calidad de vida de los alimentos. Así mismo, Zhang et al. (2020) indica que el procesado por PEF no deja residuos químicos permitiendo prolongar la vida útil de los productos.

A continuación, se describen algunos estudios utilizando campos eléctricos pulsados.

Tabla 2

Inactivación de Microorganismos mediante la Aplicación de Pulsos Eléctricos

Organismo	Medio	Campo Eléctrico (kv/cm)	Ciclo de Conteo de Reducción de Colonias Kg
Salmonella	Caldo de carne de res	15	0-6
typhimurium	Leche ultrafiltrada	12	2-3.5
Escherichia coli	Sopa de guisantes	28	0-1
E. coli			
Saccharomyces	Jugo de manzana	12	1-4
cerevisiae			
E. coli	Leche ultrafiltrada	36	0-2.5
E. coli	Leche ultrafiltrada	55	0-3

Nota. Aplicación de pulsos eléctricos para la inactivación de microorganismos en alimentos líquidos. Tomado de. Campos eléctricos pulsados. Pineda Posadas et al. (2022).

https://www.ecorfan.org/handbooks/Handbooks_Tecnologias_Emergentes_Aplicadas_en_Alimentos_TI/Handbooks_Tecnologias_Emergentes_Aplicadas_en_Alimentos_TI_6.pdf

Fernández Molina et al. (1999) estudiaron la vida útil de la leche cruda descremada (0,2% de grasa láctea), tratada con PEF a 40 kV/cm, 30 pulsos y un tiempo de tratamiento de 2 μ s utilizando pulsos de descomposición exponencial. La vida útil de la leche fue de 2 semanas almacenada a 4 °C; sin embargo, el tratamiento de la leche cruda descremada con 80 °C durante 6s seguido de un tratamiento con PEF a 30 kV/cm, 30 pulsos y un ancho de pulso de 2 μ s aumentó la vida útil hasta 22 días, con un recuento total de placa aeróbica de 3,6 log ufc/ml y sin coliformes.

Jemai y Vorobiev. (2006) estudiaron la implementación del campo eléctrico pulsado para la extracción de jugo en frío de coquetas de remolacha azucarera utilizando un equipo de prensado de múltiples placas y marcos a escala piloto y un generador de pulsos. Se logró un rendimiento de aproximadamente el 80 % en jugo por masa inicial de coquetas antes del lavado. La pureza de los jugos fue mayor después del tratamiento PEF en comparación con los jugos sin tratamiento PEF (96-98% y 90-93% respectivamente).

Ultrasonido. El ultrasonido es una tecnología emergente, que ha sido de interés en la industria alimentaria debido a su capacidad de inactivación microbiana y enzimática. “El ultrasonido maneja ondas con frecuencias entre 16KHz y 20MHz, las cuales al ser aplicadas pueden llegar hasta 5MHz en gases o hasta 500MHz en líquidos y sólidos” (Delgado, 2012).

Las ondas ultrasónicas generan burbujas en el líquido o alimento. Estas burbujas colapsan fuertemente, liberando energía que daña las membranas celulares de los microorganismos, provocando su desintegración. La presión generada por las ondas puede inducir estrés mecánico

en las células microbianas, causando daño irreversible sobre las estructuras internas como proteínas y ácidos nucleicos.

Estudios como los de Delgado (2012), indican que se obtuvieron buenos resultados para la inactivación de microorganismos, inhibición de la actividad enzimática, mejoramiento de los procesos térmicos y conservación de las características nutricionales sin alterar las propiedades físicas, químicas y nutricionales de los alimentos.

Delgado (2012) indica que el ultrasonido ha sido utilizado para la evaluación de textura, composición y viscosidad de alimentos, desarrollo de técnicas de análisis no invasivas y para determinar el nivel de homogenización de glóbulos de grasa en leche.

Priyadarshini et al. (2018) afirma que el procesamiento de alimentos con ultrasonido se destaca por la reducción del tiempo y temperaturas del proceso, mayor rendimiento y menor consumo de energía.

El ultrasonido se ha implementado en la industria alimentaria como diversos métodos de conservación de alimentos. Dentro de las principales aplicaciones del ultrasonido se destaca:

- Método de emulsificación/homogenización: Los ultrasonidos de alta potencia son una técnica de homogeneización no térmica suave que puede reducir el tamaño de los glóbulos de grasa láctea. (Calvo Silva et al., 2020). Esto es útil para homogeneizar sustitutos de la leche, como la leche de coco o la leche de soja.

- Método antiespumante: Según Delgado (2012) el ultrasonido permite controlar el exceso de espuma en los procesos de la industria alimentaria. Por ejemplo, el ultrasonido ha sido implementado para el control de exceso de espuma en el embotellado de latas de bebidas carbónicas, ya que debido a la cavitación (ruptura de burbujas) se controla, casi instantáneamente, bajo el haz acústico formado por estas ondas de ultrasonido.

- Proceso de desgasificación/ aireación: Las ondas ultrasónicas de alta presión rompen las burbujas de gas, liberando energía que rompe los lazos entre las partículas y elimina el gas. La desgasificación ultrasónica se utiliza en muchos procesos, como: preparación de muestras para evitar errores de medición, desgasificación de alimentos líquidos para reducir la proliferación microbiana y desgasificación de polímeros.

Kissam et al. (1982) realizaron un estudio donde se implementó la tecnología de ultrasonido como método de descongelado. El estudio se basó en descongelar bacalao en bloques de 91 mm de espesor y 12.7 kg, descongelados a 18°C en agua corriente y empleando un transductor cerámico cercano a la superficie del bloque. Se emplearon ondas a una frecuencia de 1500 Hz a 60 W/cm² logrando reducir el tiempo de descongelado en 71% en comparación con el uso de agua tradicional, resaltando que la calidad de la carne no se afectó por el empleo del ultrasonido.

A su vez, “en quesos se ha aplicado el ultrasonido y se ha observado un producto más uniforme en la cantidad de sal aplicada, debido a los procesos de transferencia de masa dentro y fuera del producto” (Hatloe, 1995).

Cameron et al. (2009) ha reportado que el uso de ultrasonido en la aplicación durante procesos de pasteurización de productos lácteos ha probado su eficiencia en la inactivación de E. Coli, Pseudomonas fluorescens y Listeria' monocytogenes sin presentar efectos adversos en el contenido de proteína total o en la caseína de leche pasteurizada.

Plasma Frío. Según López et al. (2020) en esta tecnología se elimina los patógenos en los alimentos a través de un proceso físico y químico basado en la generación de un gas parcialmente ionizado.

Este gas contiene partículas reactivas, como electrones, iones, radicales libres y moléculas excitadas, que interactúan con los microorganismos. Las partículas reactivas del plasma frío atacan las membranas celulares de los microorganismos, causando alteraciones en su estructura y permeabilidad, lo que conduce a su destrucción.

De acuerdo con Caballero Figueroa & Terrés (2022) los radicales libres oxidan las proteínas, lípidos y ácidos nucleicos en los microorganismos, lo que interfiere con funciones vitales como la multiplicación y reparación celular de los patógenos.

Las fuentes de plasma (oxígeno, nitrógeno y helio) operan alrededor de los 60°C y se considera como plasma frío en comparación con otras fuentes de generación de plasmas que oscilan entre los 600°C y 800°C.

En cuanto a las tecnologías y configuraciones para la generación de plasma frío, las más usadas son descarga de barrera dieléctrica (DBD), plasma jet, descarga de corona, descarga de microondas y radiofrecuencias.

Según Jadhav et al. (2021) los alimentos tratados con plasma frío muestran una reducción en su carga microbiana gracias a que los microorganismos están expuestos a los electrones, iones y fotones, generando daño en la membrana celular. El plasma frío permitir ser empleado en condiciones secas en comparación con otras tecnologías emergentes como los pulsos eléctricos y el ultrasonido que requieren del uso de líquido.

Kaavya et al. (2021) indica que el plasma frío además de descontaminar los alimentos promueve los procesos oxidativos en algunos sistemas alimentarios, reportando efectos mínimos en la calidad y apariencia de los alimentos. Esta tecnología se destaca por el mínimo consumo de energía y la no generación de residuos tóxicos.

Las aplicaciones de plasma frío en la industria alimentaria incluyen “la desinfección de superficies de productos sólidos y líquidos como leche en polvo, carne, aves pescado, hierbas, semillas germinadas, granos, especias y productos frescos” (Hernández Hernández et al., 2019)

Además, el plasma frío es una tecnología extremadamente versátil con aplicaciones en diversas áreas en la industria alimentaria. Dentro de las principales aplicaciones se encuentra:

- Destrucción de biopelículas. “La formación de biopelículas representa un desafío significativo para la inocuidad alimentaria debido a que las colonias muestran una mayor resistencia a la deshidratación, estímulos mecánicos y agentes químicos” (Puentes Díaz, 2024).

En este contexto, según Muñoz y Concha Meyer (2022) el uso de plasma frío causa daños en la membrana, provocando una degradación de macromoléculas y mutaciones en el ADN dentro de la célula, afectando directamente a la resistencia de la biopelícula.

- Descontaminación de micotoxinas. Investigaciones como las de Verjel Delgado (2022) han demostrado que el plasma frío provoca modificaciones estructurales en las moléculas de las micotoxinas, lo que tiene como consecuencia su transformación en productos de menor toxicidad.

- Inactivación de microorganismos. Autores como Kim et al. (2017), investigaron el tratamiento de tomates Cherry con plasma frío generado por microondas frente a la contaminación por Salmonella. En condiciones óptimas, el tratamiento con plasma frío por 9 min produjo una reducción de la carga microbiológica de Salmonella en 3,5 log₁₀, sin afectar las propiedades biológicas de los tomates Cherry. A continuación, se presenta el resultado de algunas investigaciones sobre la aplicación del plasma frío en la inactivación de microorganismos.

Tabla 3*Plasma Frío en la Inactivación de Microorganismos*

Microorganismo	Sustrato	Método	Efectos
E. coli	Biopelícula	Plasma Jet	Reducciones de hasta 3,29 log CFU ml ⁻¹
E. coli	Cidra de Manzana	Plasma Jet	Reducción de hasta 5 ciclos logarítmicos
E. coli	Jugos de Naranja, tomate y manzana; Néctar de cereza	Plasma Jet	Reducción de hasta 4,02 log CFU/mL
L. monocytogenes	Queso fresco	DBD	Cambios en la formación de biofilm, motilidad y dinámica de crecimiento
S. typhimurium	Manzana golden delicious	Descarga Corona	Reducción de 5,3 log ₁₀ CFU/cm ²
S. typhimurium; S. enterica	Alimento para animales		Reducción de 3,03 log CFU/cm ²
S. aureus	Nuggets de pescado	Plasma Jet	Reducción de hasta 1,04 Log

Nota. Aplicación de plasma frío para la inactivación de algunos microorganismos patógenos.

Tomado de. Principios, aplicaciones y efectos de la aplicación de plasma frío en alimentos: una revisión actualizada. Puente Díaz, L. (2024). https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182024000200155&script=sci_arttext

Irradiación. Es una tecnología de conservación de alimentos, que consiste en exponer el producto a la acción de radiaciones ionizantes durante un periodo de tiempo, el cual depende de la cantidad de energía que se quiera que el alimento absorba. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016) existen dos tipos de radiación, la no ionizante y la ionizante.

- Radiación no ionizante. Es aquella energía radioactiva que solo tiene suficiente energía para alterar la materia. Dentro de la radiación no ionizante se encuentra el microondas, la luz solar y la luz infrarroja, etc.

- Radiación ionizante. Es capaz de provocar la ionización de la materia. Dentro de estos se encuentran los rayos x o rayos gamma.

Según Caballero Figueroa y Terrés (2022) la aplicación de la irradiación en los alimentos daña el DNA bacteriano y la producción de moléculas activas como radicales hidroxilos (OH^-) e hidrógeno (OH^+) y electrones que conducen a la lisis celular.

La efectividad de la irradiación se basa en la fuente de radiación ionizante, las características de la matriz del alimento, el contenido de humedad, la presencia o ausencia de oxígeno, la dosis absorbida, la densidad y grosor del alimento.

Dependiendo de la fuente, “La radiación puede provenir de tres fuentes diferentes: rayos gamma, electrones de alta energía y rayos x, en la industria alimentaria la fuente que se utiliza en un 70%, es el Cobalto 60”. (Caballero Figueroa & Terrés, 2022)

Los rayos gamma se destacan por su alta capacidad de penetración permitiendo el procesamiento de empaques grandes. Los rayos gamma han sido utilizados para la reducción de carga microbiana en carne y productos cárnicos. En la Tabla 4 se exponen las dosis de irradiación administradas a algunos productos alimenticios en base a un estudio realizado por Díaz Almanza et al. (2021).

Tabla 4*Dosis de Irradiación Gamma de acuerdo con el Microorganismo*

Producto Alimenticio	Microorganismo	Dosis (kGy)
Pollo y sus derivados	Salmonella	3-4.5 en producto fresco
	Campylobacter	7 en producto congelado
Carne roja	E. coli	3-4.5 en producto fresco
Ancas de rana	Salmonella	5
Mariscos	E. coli	1.5-3
Dietas médicas especiales	Patógenos y de deterioro	45

Nota. Dosis de irradiación administradas de acuerdo con el producto alimenticio y el microorganismo objetivo. Tomado de. Tecnologías emergentes no térmicas para la conservación de carne fresca y productos cárnicos. Díaz Almanza et al. (2021).

<https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.829>

“Los electrones de alta energía son generados mediante aceleradores de electrones industriales que pueden ser utilizados en pequeñas piezas de alimento para su descontaminación superficial” (Díaz Almanza et al., 2021). Los electrones de alta energía se consideran más seguros para el consumidor y representa mayor efectividad en la inactivación bacteriana en comparación con la tecnología de rayos gamma.

Se ha utilizado para la descontaminación de pollo, res, pescado, carne congelada y carne refrigerada. Autores como Paucar Menacho et al. (2024) afirman que la irradiación es efectiva en la reducción de carga bacteriana sobre superficies de bacterias totales, coliformes y Salmonella.

Así mismo, “Los rayos x son un tipo de radiación ionizante con la capacidad de pasar a través de materiales de hasta 40 cm de grosor” (Díaz Almanza et al., 2021). Esta característica permite su aplicación a productos cárnicos empacados, disminuyendo el riesgo de contaminación.

Según Ortiz Rodríguez et al. (2022) los alimentos irradiados son a menudo más dulces que los no irradiados, sin embargo, el uso de dosis de irradiación excesivas puede tener efectos adversos en los alimentos, como una disminución de las propiedades funcionales y sensoriales. La tabla 5 describe algunos rangos de dosis de irradiación y el efecto en los alimentos.

Tabla 5

Efectos de la Irradiación en los Alimentos

Tipo de Dosis	Dosis	Efecto
Baja	Hasta 1 kGy	Retrasa la maduración y envejecimiento de frutas frescas y vegetales. Así mismo controla parásitos en los alimentos.
Media	Hasta 10 kGy	Reduce los microorganismos patógenos, permitiendo mejorar las propiedades organolépticas de los alimentos.
Alta	Superior a 10 kGy	Esteriliza alimentos deshidratados como las especias y alimentos con humedad como la carne, pollo, mariscos y pescados, generando la inactivación de enzimas.

Nota. Rangos de dosis de irradiación y su efecto en los alimentos. Tomado de. Tecnologías emergentes aplicadas en alimentos. Ortiz Rodríguez et al. (2022). <https://goo.su/UTN8O>

Finalmente, organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Internacional de la Energía Atómica (IAEA) certifican que la irradiación en

alimentos es un método de conservación seguro y es un punto crítico de control efectivo un sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP).

Diodos Emisores de Luz. La tecnología de diodos emisores de luz (LED) constituye un innovador método no térmico de conservación de alimentos debido a su capacidad para emitir luz en longitudes de onda específicas, lo que permite aplicaciones versátiles y eficientes. La tecnología LED utiliza energía luminosa con longitudes de onda entre 200 y 780 nm, subdividiendo el espectro en violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo, siendo las longitudes de onda azul, verde y roja comúnmente empleadas en la industria alimentaria. (Paucar Menacho et al., 2024)

Según Prasad et al. (2020) la eficacia de los tratamientos con LED de alimentos sólidos depende del tipo y la naturaleza de los productos alimenticios y sus componentes, la actividad del agua y la morfología de la superficie del alimento.

Los LED no son peligrosos debido a que no contienen mercurio y su tamaño compacto los hace fáciles de incorporar en aplicaciones de procesamiento de alimentos existentes. La tecnología de diodos emisores de luz se ha caracterizado por la inactivación de bacterias, virus, hongos y se ha demostrado eficacia antimicrobiana en los sistemas alimentarios.

Así mismo, se han realizado estudios de la aplicación de diodos emisores de luz como método de esterilización, por ejemplo, Prasad et al. (2020) probaron los efectos antibacterianos de un LED de 460 nm a diferentes temperaturas de iluminación en piñas recién cortadas infectadas con un cóctel de Salmonella entérica. Con una irradiancia de 92 mW/cm^2 a una temperatura de iluminación de $16 \text{ }^\circ\text{C}$, lograron reducir la cantidad de bacterias en un 98% aproximadamente.

En un estudio realizado por Koutchma (2009) se evaluó los efectos de desinfección del tratamiento de LED en alimentos líquidos, como sidra de manzana, jugos, cerveza y leche. Este estudio demostró menor actividad antimicrobiana de patógenos comunes transmitidos por alimentos, como E. coli, levaduras y mohos.

No obstante, los diodos emisores de luz representa emisiones radiantes de bajo calor, alta emisión de luz monocromática, flexibilidad y robustez mecánica, permitiendo reducir el daño térmico y la degradación de los alimentos.

Luz Pulsada (LP). Consiste en la aplicación en forma sucesiva de destellos de luz blanca de corta duración y amplio espectro. El tiempo del proceso es corto, entre 100 a 350 microsegundos/pulso. Esta tecnología se caracteriza por no producir un incremento de temperatura en el producto. La luz pulsada, especialmente en las longitudes de onda ultravioleta, causa rupturas en el ADN de los microorganismos, lo que impide su replicación y lleva a su inactivación.

La luz pulsada produce radicales libres que interactúan con los componentes celulares, como lípidos, proteínas y material genético, causando daños irreversibles. A su vez, la exposición a luz intensa desnaturaliza proteínas esenciales, afectando las funciones metabólicas y estructurales de los microorganismos.

Cada pulso se genera por la acumulación de energía en el condensador, que es liberada de forma rápida a la lámpara de xenón que, al ionizarse rápidamente, produce un destello intenso. “La luz emitida se compone aproximadamente de un 30% - 40% de radiación UV, el resto corresponde aproximadamente a partes iguales de radiación infrarroja y luz visible” (Hernández Alarcón, 2019)

La luz pulsada se ha utilizado para la esterilización en superficie de materiales de envasado, esterilización de equipos, eliminación de microorganismos de alimentos líquidos, reducción de flora en superficies de alimentos sólidos (carne, pescado, pan, comidas preparadas) e inactivación de enzimas responsables de oscurecimiento.

Según Escobar Tovar (2017) las bacterias Gram positivas son más resistentes que las Gram negativas a los tratamientos por luz pulsada. Así mismo, Duarte Molina et al. (2016) estudiaron el efecto de diferentes dosis de luz pulsada (2,4-47,8 J/m²) sobre el desarrollo fúngico y las propiedades mecánicas y organolépticas de fresas almacenadas a 6 °C. La incidencia de hongos durante la poscosecha se redujo entre un 16 y 42 %, Además, la aplicación de la luz pulsada contribuyó en retardar el ablandamiento de las fresas durante el almacenamiento sin provocar cambios significativos en el color.

Así mismo, un estudio realizado por Escobar Tovar (2017) permitió determinar que la aplicación de luz pulsada con dosis de 11,9 J/cm² y 23,9 J/cm² no produjeron cambios significativos en la acidez, el pH y el contenido de sólidos solubles en fresas almacenadas 8 días a 6°C.

Díaz Almanza (2021) afirma que, al aplicarse la tecnología de luz pulsada en salchichas, se encontró un efecto de inhibición de microorganismos como Salmonella sp y S. aureus, sin afectar significativamente en las características organolépticas de estas. Por lo tanto, la luz pulsada se destaca por ser un tratamiento letal contra los microorganismos, inactivación de enzimas y mínima alteración sensorial y nutricional.

Campos Magnéticos Oscilantes. Los campos magnéticos oscilantes utilizan ozono para desinfectar y conservar alimentos. Esta tecnología fue explorada como método de inactivación microbiana, aplicando campos magnéticos en la forma de amplitud constante o de amplitudes de ondas oscilantes.

La exposición a los campos magnéticos causa inhibición en el crecimiento y reproducción de los microorganismos. La inactivación microbiana se debe a dos fenómenos: la ruptura de la molécula de ADN y de ciertas proteínas; y a la ruptura de enlaces covalente en moléculas con dipolos magnéticos.

Oblitas Cruz (2019) indica que para que los microorganismos sean inactivos el tiempo de tratamiento requerido para la conservación de alimentos es mínimo (25 μ s o por arriba de pocos milisegundos).

El campo electromagnético se puede dividir en dos categorías: campo magnético estático y campo magnético oscilante. Los campos magnéticos estáticos “son aquellos que no cambian en términos de intensidad o dirección con el tiempo, independientemente de las frecuencias altas y bajas de los campos alternos” (Paucar Menacho et al., 2024).

Por otro lado, un campo magnético oscilante “varía con el tiempo y rota alrededor del centro de la línea del campo magnético” (Paucar Menacho et al., 2024). Según Carrera Meza, (2019) los alimentos más idóneos para someterse a este proceso de conservación son: zumos, mermeladas, frutos tropicales en soluciones azucaradas, derivados cárnicos y productos envasados.

En la industria alimentaria, se ha implementado el concepto de congelación asistida por campo magnético oscilante. Este método implica la generación de un campo magnético alrededor del producto congelado, utilizando imanes permanentes o electroimanes

Así mismo, Carrera Meza (2019) afirma que los campos magnéticos oscilantes han mostrado aportes significativos en el mejoramiento de la calidad de azúcar cruda y refinada cuando se trata el jugo filtrado de la saturación primaria.

De acuerdo con Oblitas Cruz (2019) se realizó un experimento sobre la inactivación de microorganismos con campos magnéticos oscilantes en leche, yogurt y jugo de naranja. Logró concluir que solamente un pulso de campo eléctrico pulsado era adecuado para reducir la población bacteriana en dichos alimentos. La intensidad del campo magnético requerida para conseguir estos efectos varió entre 2 y 50 T y una escala de frecuencia entre 5 y 500 kHz.

Así mismo, Paucar Menacho et al. (2024) afirma que los campos magnéticos oscilantes permiten acelerar la transferencia de calor durante el proceso de congelamiento y preservar la firmeza de los alimentos, evitando la pérdida de textura asociada al congelamiento convencional.

Ventajas y Desventajas de Implementar Tecnologías Emergentes No Térmicas en Términos de Costos, Sostenibilidad y Aceptación del Consumidor

Antes de evaluar las ventajas y desventajas de las tecnologías emergentes de conservación de alimentos, es fundamental abordar los métodos convencionales que han sido ampliamente utilizados a lo largo del tiempo. Estos métodos, como el escaldado, la pasteurización y la esterilización, han demostrado su eficacia para preservar la calidad y seguridad de los alimentos.

Sin embargo, también presentan limitaciones, como los impactos en las propiedades sensoriales y nutricionales, la dependencia de energía y la sostenibilidad en ciertos casos. Comprender estas técnicas tradicionales proporciona una base sólida para analizar cómo las tecnologías emergentes podrían ofrecer soluciones innovadoras y complementarias en el ámbito

de la conservación alimentaria. No obstante, a continuación, se realiza una breve descripción de los métodos convencionales de conservación de alimentos.

Métodos Convencionales de Conservación de Alimentos

Los alimentos sufren deterioro ocasionado por la acción de agentes biológicos (microorganismos, enzimas), físicos (luz, aire) y químicos (oxidación). Para retrasar el deterioro de los alimentos, prolongar la vida útil de estos y garantizar la inocuidad, la industria alimentaria implementa métodos de conservación de alimentos.

Las tecnologías de conservación de alimentos son de tipo físico y químico. Actualmente, los métodos de conservación de alimentos más comunes son de tipo físico por aumento de temperatura como el escaldado, pasteurización y esterilización.

La aplicación de tratamientos térmicos permite la destrucción de microorganismos, desnaturalización de las proteínas y la inactivación de las enzimas. A continuación, se describen los tratamientos térmicos más comunes en la conservación de alimentos.

Escaldado. Es un tratamiento térmico suave de corta duración empleado en frutas y hortalizas con el objetivo de inactivar enzimas que generan cambios en la calidad de los alimentos, deteniendo la actividad metabólica y la degradación del alimento.

“Se emplean temperaturas entre 7 y 100°C en tiempos de 1 a 15 minutos, resaltando que el tiempo a utilizar dependerá de la forma, tamaño y cantidad del alimento” (Castro Ríos, 2011). El escaldado es una técnica previa a un segundo tratamiento como la congelación, la liofilización o el secado. El escaldado se divide en:

- Escaldado en agua caliente: “Se somete al alimento a una inmersión en agua caliente a una temperatura de 85°C a 98°C durante 1 a 3 min y finalizando con un enfriamiento rápido” (Palacios Jaimes, 2020). Este método se destaca por su facilidad de aplicación, sin

embargo, si se realiza por un tiempo prolongado, genera la pérdida de nutrientes esenciales en los alimentos como proteínas, vitaminas y azúcares.

- Escaldado por vapor: La temperatura de los productos aumenta gradualmente hasta alcanzar la temperatura crítica que permita inactivar las enzimas o la actividad de los organismos.

- Escaldado asistido por microondas: “Estas son ondas electromagnéticas con una frecuencia que varía de 300 MHz a 300 GHz” (Palacios Jaimes, 2020). Según Parra Londoño et al. (2021) el escaldado asistido por microondas se destaca por reducir la carga microbiana y presentar mayor retención de vitaminas en los alimentos.

Pasteurización. La pasteurización es un proceso térmico aplicado a alimentos líquidos para destruir microorganismos patógenos. De acuerdo con Castro Ríos (2011) la temperatura y el tiempo a emplear dependerán del tipo de microorganismo, sin embargo, las más comunes son 72 °C durante 15 ó 20 segundos (pasteurización rápida) o 63 °C durante 30 minutos (pasteurización lenta) seguida de un enfriamiento a rápido a 4° C.

Tirado et al. (2017) indica que el objetivo principal de la pasteurización no es la eliminación completa de los agentes patógenos, sino la disminución de sus poblaciones, con el fin de reducir los microorganismos a un nivel que no representen riesgo para los consumidores.

Existen tres tipos de procesos de pasteurización: pasteurización VAT o lenta, pasteurización a altas temperaturas durante un breve período (HTST) y proceso a altas temperaturas (UHT).

La pasteurización VAT o pasteurización a baja temperatura en largo tiempo consiste en calentar el alimento a temperaturas alrededor de 63°C a 68°C durante 30 minutos. Este método es aplicado a alimentos sensibles al calor como los huevos y salsas.

La pasteurización a altas temperaturas durante un breve periodo (HTST) es empleado en los líquidos como la leche, los zumos de fruta y la cerveza. En este tipo de pasteurización el alimento se calienta a 72°C durante 15 segundos. Palacios Jaimes (2020) afirma que este método es más eficiente, ya que expone al alimento a altas temperaturas durante un período breve, reduciendo de esta manera las alteraciones sensoriales y fisicoquímicas del alimento.

El proceso a altas temperaturas (UHT) consiste en esterilizar alimentos y luego empacarlo en envases y ambientes estériles o asépticos. De acuerdo con Castro Ríos (2011) en el método UHT se emplean temperaturas entre 135°C a 150°C por inyección de vapor saturado o seco durante 1 a 5 segundos, seguido de un enfriamiento rápido a 4°C.

Según Palacios Jaimes (2020) la pasteurización se destaca por la eliminación de bacterias patógenas, aumenta la vida útil de los alimentos y proporciona estabilidad del producto, sin embargo, puede alterar ligeramente el sabor y reducir los valores nutricionales de los alimentos.

Esterilización. Es el tratamiento térmico más utilizado para productos alimenticios de baja acidez ($\text{pH} > 4,6$). Este método de conservación de alimentos se destaca por inactivar esporas y extender la vida útil de los alimentos. Durante la esterilización, los alimentos son elevados a temperaturas alrededor de 121°C durante varios minutos, la cual es mantenida por un tiempo predeterminado y luego enfriados, en un recipiente herméticamente sellado.

Según Barbosa Cánovas y Bermúdez Aguirre (2010) la esterilización se ha utilizado para inactivar células de microorganismos patógenos como Salmonella, Escherichia coli, Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus, y esporas de Clostridium botulinum en un número significativo de productos.

Pérez Reyes y Sosa Morales (2013) afirman que la esterilización debe seguir un control estricto y requiere de tiempos de procesamiento específicos para garantizar que las esporas de los

microorganismos más resistentes sean inactivadas. Sin embargo, debido al uso excesivo de calor los alimentos presentan pérdida de nutrientes termo sensibles como vitaminas.

Si bien los métodos convencionales han sido ampliamente utilizados y han demostrado su eficacia en la conservación de alimentos, es importante identificar cómo las tecnologías emergentes están transformando este ámbito.

Las tecnologías emergentes surgen a partir de la necesidad de garantizar la producción y comercialización de alimentos inocuos y que cumplan con altos estándares de calidad, garantizando la seguridad alimentaria y satisfacción de los consumidores. Actualmente, las tecnologías emergentes no térmicas representan alternativas suaves y eficientes en comparación con los métodos tradicionales de conservación de alimentos.

Estas tecnologías se caracterizan por no utilizar altas temperaturas lo que permite conservar mejor las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales de los alimentos. Sin embargo, su implementación a gran escala requiere superar algunos desafíos técnicos y económicos.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se describen las ventajas y desventajas de implementar tecnologías emergentes no térmicas en términos de costos, sostenibilidad y aceptación del consumidor.

Tabla 6

Ventajas y Desventajas de las Tecnologías Emergentes No Térmicas

Categoría	Tecnologías Emergentes No Térmicas	
	Ventajas	Desventajas
	Alta Presión Hidrostática (APH)	
Costos	Menor consumo energético.	Costo elevado de inversión inicial.
Sostenibilidad	Uso de tecnología limpia que no genera emisiones ni produce residuos.	Alto consumo de agua.

Categoría	Ventajas	Desventajas
Aceptación del Consumidor	Inactiva microorganismos, bacterias y virus de los alimentos. Mejora en la calidad sensorial del producto sin comprometer la seguridad alimentaria.	Existe poco conocimiento sobre la tecnología, lo que genera desconfianza por parte de los consumidores.
Campo Eléctrico Pulsado (PEF)		
Costos	Reducción en costos de energía.	Costos elevados de inversión inicial.
Sostenibilidad	No genera subproductos ni residuos, lo que la convierte en una tecnología ecológica.	La implementación de equipos para PEF puede depender de fuentes de energía no renovables.
Aceptación del Consumidor	Conserva las propiedades nutricionales y sensoriales de los alimentos. Mayor aceptación en productos como jugos, debido a que permite mejorar sus características organolépticas.	Al ser una tecnología nueva, los consumidores se limitan en adquirir productos procesados con PEF, prefiriendo aquellos con métodos de conservación más tradicionales.
Ultrasonido		
Costos	Ahorro energético.	Costos elevados de inversión inicial. Costos de operación elevados debido al mantenimiento de equipos especializados.
Sostenibilidad	Alta eficiencia. Bajo consumo de energía.	Alto consumo de agua y solventes.
Aceptación del Consumidor	Prolonga la vida útil de los alimentos. Permite obtener emulsiones más estables y homogéneas, mejorando la textura y la apariencia de productos como salsas, aderezos y lácteos.	Provoca degradación de compuestos fenólicos y vitaminas, así como cambios de color.
Plasma Frío		
Costos	Reducción del desperdicio y las pérdidas económicas asociadas.	Costos elevados de inversión inicial. Costos elevados de mantenimiento.
Sostenibilidad	No genera productos residuales.	Generación de ozono.
Aceptación del Consumidor	Elimina patógenos sin implementar productos químicos. Alta eficiencia en la conservación de propiedades nutricionales y sensoriales.	Es una tecnología poco conocida, lo que puede generar dudas sobre su impacto en los productos.

Categoría	Ventajas	Desventajas
Irradiación		
Costos	Bajo costo energético.	El funcionamiento de los equipos requiere personal capacitado y medidas de seguridad estrictas, lo que genera costos continuos de operación.
Sostenibilidad	No genera productos residuales.	
Aceptación del Consumidor	Mejora la vida útil de los productos sin necesidad de aditivos químicos.	Preocupación de los consumidores sobre los posibles efectos en la salud a largo plazo. Oxidación de los alimentos lo que provoca rancidez oxidativa.
Diodos Emisores de Luz		
Costos	Bajo costo de mantenimiento. Menos consumo de energía.	Los LEDs representan costos elevados de inversión inicial.
Sostenibilidad	Bajo impacto ambiental. Alta eficiencia energética.	Dependencia de materiales semiconductores que no siempre provienen de fuentes sostenibles.
Aceptación del Consumidor	No emiten radiación ultravioleta (UV) ni infrarroja (IR), lo que reduce el riesgo de degradación de los alimentos y la proliferación de bacterias.	Afecta negativamente las propiedades organolépticas de los alimentos.
Luz Pulsada		
Costos	El proceso es rápido y eficiente, lo que puede reducir los costos operativos a largo plazo.	Costos elevados de inversión inicial. Costos elevados de mantenimiento.
Sostenibilidad	Menor consumo energético. Reducción de la huella de carbono.	Las lámparas de luz pulsada tienen una vida útil limitada y deben ser reemplazadas periódicamente, generando residuos electrónicos.
Aceptación del Consumidor	Mejora la vida útil de los alimentos sin cambios en las características sensoriales de los alimentos.	Puede provocar el sobrecalentamiento de los alimentos afectando el contenido nutricional.

Categoría	Ventajas	Desventajas
Campos Magnéticos Oscilantes		
Costos	Bajos costos energéticos.	Costos elevados de inversión inicial. Costos elevados de mantenimiento.
Sostenibilidad	Es una tecnología limpia que no produce emisiones ni residuos peligrosos.	Los generadores de campos magnéticos oscilantes tienen una vida útil limitada y se convierten en residuos electrónicos.
Aceptación del Consumidor	Garantiza la preservación de los nutrientes sin afectar el sabor ni la textura de los alimentos.	Falta de información sobre los beneficios de esta tecnología, lo que conlleva a una baja aceptación por parte del consumidor.

Conclusiones

Las tecnologías emergentes no térmicas han demostrado ser una solución eficaz para garantizar la calidad y seguridad alimentaria. Estas tecnologías se destacan por ser ecológicas, limpias y eficientes en comparación con los métodos convencionales de conservación de alimentos. Las tecnologías emergentes no térmicas han sido de gran interés en el control de calidad de los alimentos por su capacidad de inactivación de microorganismos y enzimas, garantizando la conservación de las propiedades nutricionales y organolépticas de los alimentos.

Se ha demostrado que las tecnologías emergentes no térmicas como la alta presión hidrostática y los campos eléctricos pulsados inactivan diferentes tipos de microorganismos patógenos que pueden poner en riesgo la salud de los consumidores. A su vez, tecnologías como la luz pulsada dañan el ADN de los microorganismos, generando la inhibición de crecimiento de estos y por ende disminuye la carga microbiana de los alimentos, prologando la vida útil de estos.

Las tecnologías emergentes no térmicas al ser eficientes en la reducción y eliminación de la carga microbiana, disminuye la necesidad de utilizar aditivos y conservantes químicos para prolongar la vida útil de los alimentos. Debido a esto, se obtienen alimentos con altos estándares de calidad y con mayor contenido de nutrientes, lo que permite ofrecer a los consumidores alimentos más inocuos, disminuyendo la exposición a sustancias químicas que podrían tener efectos adversos en la salud a largo plazo.

Así mismo, las tecnologías emergentes no térmicas se destacan por no requerir una gran cantidad de agua, permitiendo contribuir a la reducción del uso de agua y energía en plantas procesadoras de alimentos debido a su bajo requerimiento energético.

Por lo tanto, las tecnologías emergentes no térmicas ofrecen una alternativa más segura y eficiente para el procesamiento de alimentos, contribuyendo a mejorar el control de calidad y la seguridad alimentaria y por ende satisfacer las exigencias de los consumidores y minimizar el impacto ambiental.

Sin embargo, en términos de costos las tecnologías emergentes no térmicas representan un alto costo de inversión inicial, así como costos en el mantenimiento de los equipos especializados, lo que representa una brecha para su implementación en las industrias de procesamiento de alimentos y ha limitado su aplicación a gran escala.

Además, la escasa divulgación sobre los mecanismos de acción y los beneficios de las tecnologías emergentes no térmicas, junto a la percepción generalizada de que los alimentos procesados son menos saludables, ha generado una desconfianza significativa entre los consumidores. A pesar de que numerosos estudios han demostrado la eficacia de estas tecnologías en la inactivación de microorganismos patógenos y la preservación de los nutrientes, la falta de información clara y accesible ha dificultado su aceptación por parte de los consumidores finales.

Perspectivas

Las tecnologías emergentes no térmicas se destacan por su capacidad de brindar soluciones innovadoras y efectivas a los desafíos que enfrentan las industrias. La implementación de estas tecnologías a gran escala permitirá a futuro el procesamiento de alimentos con el fin de garantizar su conservación y calidad nutricional, permitiendo ofrecer productos más frescos, naturales y nutritivos a los consumidores.

Las tecnologías emergentes no térmicas contribuirán al desarrollo de alimentos innovadores con texturas, sabores y funcionalidades mejoradas, permitiendo garantizar la seguridad alimentara gracias a su capacidad de eliminación de microorganismos, patógenos y reducción en el riesgo de contaminación.

Así mismo, tecnologías como el plasma frío y la irradiación se utilizarán para mejorar la producción de alimentos al reducir el uso de pesticidas y fertilizantes químicos. Esto contribuirá a garantizar la seguridad alimentaria, proteger el medio ambiente y reducir la contaminación de aguas residuales.

Por lo tanto, el desarrollo, implementación y avance de las tecnologías emergentes se orientan hacia el desarrollo de productos más seguros, eficientes y respetuosos con el medio ambiente lo que permitirá mejorar la calidad de vida de las personas y disminuir el impacto ambiental.

Referencias Bibliográficas

- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (2019). Línea base de la situación alimentaria y nutricional de la niñez en Colombia, 2019.
<https://www.andi.com.co/Uploads/Li%CC%81nea%20base%20de%20la%20situacio%C%81n%20alimentaria%20y%20nutricional%20de%20la%20nin%CC%83ez%20en%20Colombia%20-%202019.pdf>
- Augusto, P. E. (2020). Challenges, trends and opportunities in food processing. *Current Opinion in Food Science*. 35 (1) <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.005>
- Balasubramaniam, V. M & Barbosa Cánovas, G.V. (2020). High pressure processing of foods: Principles, technology, and applications. *Food Engineering*. Springer.
<https://books.google.com.co/books?id=Myh7CwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Barbosa Cánovas, G.V & Bermúdez Aguirre, D. (2010). Procesamiento no térmico de alimentos. *Scientia agropecuaria*, 1 (1). <https://www.redalyc.org/pdf/3576/357633694008.pdf>
- Caballero Figueroa, E., Terrés, E., Hernández Hernández, H. M., & Escamilla García, M. (2022). Revisión sobre las tecnologías emergentes no térmicas para el procesamiento de alimentos. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*. 25.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.459>
- Chakka, A. K., Sriraksha, M. S., & Ravishankar, C. N. (2021). Sustainability of emerging green non-thermal technologies in the food industry with food safety perspective: A review. *Lwt*. 151(1). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112140>

- Calvo Silva, F., Gómez, J. M., Ricardez Sandoval, L., & Álvarez, O. (2020). Integrated design of emulsified cosmetic products: A review. *Chemical Engineering Research and Design*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.07.014>
- Cameron, M., McMaster, L. D & Britz, T.J. (2009). Impacto of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components. *Technol.* 93(1), 1-6.
- Carrera Meza, I. A. (2019). Campos magnéticos oscilantes. Nuevas tecnologías en la conservación de alimentos. Universidad Autónoma de Chihuahua. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-chihuahua/ciencia-de-los-alimentos/aplicacion-de-campos-magneticos-oscilantes-cmo-para-la-conservacion-de-alimentos/10960910>
- Castro Ríos, K. (2011). Tecnología de alimentos. Ediciones de la U. <https://dct.digitalcontent.com.co/sview/default.aspx>
- Chantakun, K., & Benjakul, S. (2022). Characteristics and qualities of edible bird's nest beverage as affected by thermal pasteurization and sterilization. *Journal of Food Science and Technology*, 59(1), 4056 – 4066. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05455-8>
- Díaz Almanza S., Alarcón Rojo, A. D & García Galicia, I. A. (2021). Tecnologías emergentes no térmicas para la conservación de carne fresca y productos cárnicos. *Tecnociencia Chihuahua*, 15(2). <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.829>
- Díaz Avilés, I. E. (2023). Importancia de la inocuidad alimentaria y las BPM en la industria de procesamiento de alimentos. Universidad Politécnica Salesiana: Repositorio Digital. <https://research-ebscocom.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=25858cfe-95a1-3d28-a10a-628f8e92c79c>

- Duarte Molina, F., Gómez, P.L., Castro M. A & Alzamora, S. M. (2016). Storage quality of strawberry fruit treated by pulsed light: fungal decay, water loss and mechanical properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(1).
- Eisenbrand, G. (2005). Safety assessment of high pressure treated foods. Senate Commission on Food Safety.
<https://www.dfg.de/resource/blob/169094/71c61365743add1d580b4abf7470480b/sklm-high-pressure-2005-en-data.pdf>
- Escobar Tovar, A. (2017). Impacto de la aplicación de luz pulsada de alta intensidad sobre compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de frutilla [tesis de Maestría, Universidad de Buenos Aires]. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6136_EscobarTovar
- Fernandez Molina, J. J., Barkstrom, E., Torstensson, P., Barbosa Cánovas, G. V. & Swanson, B. G. (1999). Shelf life extension of raw skim milk by combining heat and pulsed electric fields. *Food Res Int*, 5(2).
- Figueroa Sepúlveda, K. F., Castillo Robles, N. Z. & Martínez Girón, J. (2021). Aplicación de altas presiones y otras tecnologías en frutas como alternativa de tratamientos térmicos convencionales. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 19 (2).
<https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1772>
- Gálvez, E. (2006). Calidad e inocuidad en las cadenas latinoamericanas de comercialización de alimentos. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.
<https://www.fao.org/4/a0843s/a0843s00.htm>

- González, F., & Pérez, L. (2019). Aplicaciones de osmosis inversa en la industria láctea. *Tecnología y Ciencia de Alimentos*, 11(2), 60-70.
<https://www.redalyc.org/pdf/437/43717211.pdf>
- Hatloe, J. (1995). Methods for pickling and marinating non-vegetables food stuff raw material.
<https://patents.google.com/patent/WO1995018537A1/en>
- Hernández Hernández, H. M., Moreno Vilet, L., & Villanueva Rodríguez, S. J. (2019). Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 58.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102233>
- Huang, H. W., Wu, S. J., Lu, J. K., Shyu, Y. T., & Wang, C. Y. (2017). Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food control*, 72.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.019>
- Instituto Nacional de Salud. (2020). Enfermedades transmitidas por alimentos.
<https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/SitePages/Evento.aspx?Event=14>
- Innova Market Insight. (2024). Tendencias alimentarias mundiales: Insights y preferencias de los consumidores. <https://www.innovamarketinsights.com/es/tendencias/tendencias-alimentarias/>
- Jadhav, H. B., Annapure, U. S., & Deshmukh, R. R. (2021). Non-thermal Technologies for Food Processing. *Frontiers in Nutrition*, 8(3). <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.657090>
- Jemai, A, B & Vorobiev, E. (2006). Pulsed Electric Field Assisted Pressing of Sugar Beet Slices: towards a Novel Process of Cold Juice Extraction, *Biosystems Engineering*, 93(1), 57-68.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.09.008>

- Kim, B., Yun, H., Jung, S., Jung, Y., Jung, H., Choe, W., & Jo, C. (2011). Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions. *Food Microbiology* 28(1). <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.07.022>
- Khan, I., Tango, C. N., Miskeen, S., Lee, B. H & Deog, H. (2016). Hurdle technology: A novel approach for enhanced food quality and safety. A review. *Food Control*, 73. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.foodcont.2016.11.010>
- Koutchma, T. (2009). Advances in Ultraviolet Light Technology for Non-thermal Processing of Liquid Foods. *Food And Bioprocess Technoly*, 2(1), 138–155. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0178-3>
- Kumar, S., Agarwal, N., & Raghav, P. K. (2016). Pulsed electric field processing of foods-a review. *International Journal of Engineering Research and Modern Education*, 1(1). https://www.researchgate.net/profile/Pramod-Raghav-2/publication/331298944_PULSED_ELECTRIC_FIELD_PROCESSING_OF_FOODS-A_REVIEW/links/5c70fef1458515831f67e60a/PULSED-ELECTRIC-FIELD-PROCESSING-OF-FOODS-A-REVIEW.pdf
- Lara, D. M. (2008). Residuos químicos en alimentos de origen animal: problemas y desafíos para la inocuidad alimentaria en Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(1). <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945024014.pdf>
- López, M., García, A., & Fernández, J. (2018). Extracción de compuestos bioactivos mediante ultrasonido. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 15(2)
- López, S., De La Hoz, L., & Fernández, J. (2020). Cold plasma technology: A new approach to food preservation. *Trends in Food Science & Technology*. 4(1). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110537>

- Martínez, R., & Jiménez, T. (2021). Electricidad pulsada en la industria alimentaria: un enfoque innovador para la desinfección. *Journal de Procesos Alimentarios*, 8(1).
- Miller, S. A., & Sahu, A. (2018). Historical perspectives on food preservation: The role of radiation. *Food Science and Nutrition*, 6(3).
- Muñoz, N., & Concha Meyer, A. (2022). Plasma frío atmosférico para el control de microorganismos patógenos en sistemas agroalimentarios. *Agro Sur*, 50(1), 11-19.
<https://doi.org/10.4206/agrosur.2022.v50n1-02>
- Nabi, B. G., Mukhtar, K., Arshad, R. N, Radicetti, E., Tedeschi, P., Shahbaz, M. U., Walayat, N., Nawaz, A., Inam-Ur-Raheem, M., & Aadil, R. M. (2021). Procesamiento de alta presión para el suministro sostenible de alimentos. *Sostenibilidad*. 13(24).
<https://doi.org/10.3390/su132413908>
- Neira García, C. A & Londoño Bedoya, A. A (2019). Factores relacionados con la intención de compra de alimentos orgánicos en consumidores de la ciudad de Bogotá. Fundación Universitaria Konrad Lorenz. https://www.aspromer.com/wp-content/uploads/2019/07/PONENCIA-FINAL_-CARLOS-ANDRES-NEIRA-GARCIA.pdf
- Oblitas Cruz, J. (2019). Tecnologías emergentes en la preservación de alimentos – Revisión. Universidad Nacional de Cajamarca.
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3108>
- Organización Mundial de la Salud. (2024). Inocuidad de los alimentos.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- Ortiz Rodríguez, L., Sandoval Salas, F., Morales Olan, G & Arcila Lozano, C.C. (2022). Tecnologías emergentes aplicadas en alimentos. Ecorfan.

https://www.ecorfan.org/handbooks/Handbooks_Tecnologias_Emergentes_Aplicadas_en_Alimentos_TI/Handbooks_Tecnologias_Emergentes_Aplicadas_en_Alimentos_TI.pdf

Palacios Jaimes, M. L. (2020). Métodos de conservación mediante la aplicación de calor.

Universidad Autónoma del Estado de México.

Parra Londoño, S., Tigreros, J. A., Girón, J. M & Ordoñez Santos, L. E. (2021). Diferentes

métodos de escaldado y su aplicación en frutas y verduras. *Revista Colombiana de*

Investigaciones Agroindustriales, 8(1), 50-63. <https://doi.org/10.23850/24220582.3710>

Paucar Menacho, L. M., Moreno Rojo, C. & Chuqui Diestra, S. R. (2024). Tecnologías

Emergentes no térmicas en la industria alimentaria: Avances y potenciales aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Scientia Agropecuaria*, 15(1), 65- 83.

<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/5830/5864>

Peña González, E., Alarcón Rojo, A. D., García Galicia, I., Carrillo López, L & Huerta Jiménez,

M. (2019). Ultrasound as a potential process to tenderize beef: Sensory and technological parameters. *Ultrasonics Sonochemistry*, 53, 134-141.

<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.045>

Pineda Posadas, J.A., Ortiz Rodríguez, E., & Ortiz Rodríguez, L. (2022). Campos eléctricos

pulsados. *Ecorfan*, 1 (2), 53-61.

https://www.ecorfan.org/handbooks/Handbooks_Tecnologias_Emergentes_Aplicadas_en_Alimentos_TI/Handbooks_Tecnologias_Emergentes_Aplicadas_en_Alimentos_TI_6.pdf

f

Prasad, A., Du, L., Zubair, M., Subedi, S., Ullah, A., Roopesh, M. S. (2020). Applications of

Light-Emitting Diodes (LEDs) in Food Processing and Water Treatment. *Food*

Engineering Reviews, 12(3). <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09221-4>

- Priyadarshini, A., Rajauria, G., Donnell, C. P. & Tiwari, B. K. (2018). Emerging food processing technologies and factors impacting their industrial adoption. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59 (19), 3082-3101.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1483890>
- Poonia, A., Pandey, S., & Vasundhara, N. (2022). Application of light emitting diodes (LEDs) for food preservation, post-harvest losses and production of bioactive compounds: A review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00086-0>
- Puente Diaz, L. (2024). Principios, aplicaciones y efectos de la aplicación de plasma frío en alimentos: una revisión actualizada. *Revista chilena de nutrición*, 51(2).
https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182024000200155&script=sci_arttext
- Rico, D., Serrano, J., & López, C. (2020). Presión alta como método de conservación de alimentos: eficacia y aplicaciones. *Alimentos y Tecnología*, 7(3), 102-110.
- Ríos Corripio, G., Welti Chanes, J., Rodríguez Martínez, V., & Guerrero Beltrán, J. A. (2020). Influence of high hydrostatic pressure processing on physicochemical characteristics of a fermented pomegranate (*punica granatum l.*) Beverage. *Innovative food science and emerging technologies*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102249>
- Rodríguez Quinchía, C.C., & Quevedo Ospina, C. (2019). La importancia del modelamiento en la evaluación de riesgos microbiológicos para la inocuidad alimentaria: contexto y potencial para Colombia. *Revista de investigación e innovación en ciencias de la salud*, 1(2), 1-3. <https://www.redalyc.org/journal/6732/673271108001/html/#c1>
- Sheng, L., Zhang, Z., Sun, G., & Wang, L. (2020). Light-driven antimicrobial activities of vitamin K3 against *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella*

- Enteritidis. *Food Control*, 114(1).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713520301511>
- Soleno Wilches, R. (2015). Tecnologías no térmicas en el procesado y conservación de alimentos vegetales. Una revisión. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 2 (1), 73–82. <https://doi.org/10.23850/24220582.172>
- Téllez, J. A., Salazar, M., & Martínez, J. (2021). Pulsed electric field processing in food: Principles and applications. *Food Science and Technology International*, 27(1), 66-80.
- Téllez Luis, S. J., Ramírez, J. A., Pérez Lamela, C., & Vázquez, M. (2001). Aplicación de la alta presión hidrostática en la conservación de los alimentos *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. *Ciencia y tecnología alimentaria*, 3(2).
<https://www.redalyc.org/pdf/724/72430101.pdf>
- Tetra Pack Index. (2023). The future of health and nutrition: Consumer attitudes, trends and the potential for new food. <https://indd.adobe.com/view/847105ae-1d66-4c7f-8e4f-6b69211c8c2b?startpage=5>
- Tirado, D. F., Yacub, J.V., Murillo, L., Escobar, B. M., & Acevedo, D. (2017). Pasteurizador de leche para la elaboración de suero costeño. *Entre ciencia e ingeniería*, 11(21), 36-41.
<http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v11n21/1909-8367-ecei-11-21-00036.pdf>
- Vargas, M., Pinto, R., & Sosa, M. (2017). Irradiación de alimentos: beneficios y desafíos. *Revista de Seguridad Alimentaria*, 5(4), 30-37.
- Velásquez Estrada, R. M., Hernández Herrero, M. M. & Guamis López, B. (2012). Impact of ultra high pressure homogenization on pectin methylesterase activity and microbial characteristics of orange juice: A comparative study against conventional heat

pasteurization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 13(2), 100-106.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856411001159?via%3Dihub>

Verjel Delgado, M. F. (2020). Efecto del tratamiento con plasma frío sobre emulsiones cárnicas.

Universidad de Pamplona.

http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/4793/1/Verjel_2019_TG.pdf

Zhao, Y., & Liu, L. (2019). Challenges and future trends in non-thermal food processing technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 6(1).

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.012>

Zhu, Z., Zhang, Y., & Wang, L. (2020). Emerging non-thermal technologies in food processing: Principles and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2).