

## Tecnologías emergentes en la preservación de alimentos – Revisión

### *Emerging technologies in food preservation - Review*

<sup>1</sup>Jimmy Oblitas Cruz

<sup>1</sup>Director EAP. Ingeniería Industrias Alimentarias Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca. Av. Atahualpa 1050, Cajamarca-Perú.

**Recibido: 14-09-18**

**Aceptado: 10-10-18**

### **Resumen**

*El objetivo de esta revisión es describir los principios básicos de tecnologías emergentes aplicadas a alimentos. Las actuales tecnologías de conservación de alimentos se están desarrollando como respuesta a las tendencias del mercado desde el punto de vista de las exigencias del consumidor sumado a la creciente preocupación por el consumo de alimentos con aditivos alimenticios. Hoy en día el consumidor valora los productos que aparentan ser más naturales, debido a su asociación con alimentos de mayor calidad y mayor valor nutricional, pero a la vez con mayor vida útil. Estas nuevas tendencias han llevado al desarrollo de nuevas tecnologías de conservación de alimentos como son el Calentamiento óhmico, Calentamiento Electromagnético, Campos Magnéticos Oscilantes y Campos Eléctricos Pulsados de los cuales se discutirán sus aplicaciones.*

**Palabras Clave:** *Procesamiento emergente de alimentos, tecnologías emergentes, procesamiento de alimentos*

### **Abstrac**

*The objective of this review is to describe the basic principles of the emerging technologies applied to food. The current technologies of food preservation are being developed based on market trends from the point of view of consumer demands and the growing concern about the consumption of food with additives. Nowadays, the consumer values products that appear to be more natural due to its association with higher quality food and higher nutritional value as well as with a longer lifetime. These new trends have led to the development of new food preservation technologies, such as: Ohmic Heating, Electromagnetic Heating, Magnetic Oscillating Fields and Electric Fields. This review will discuss the applications of these new technologies.*

**Keywords.** *Emerging Food Processing , Emerging Technologies, food processing.*

## Introducción

Estos métodos, aplicados a varias etapas de la elaboración de alimentos y la cadena de distribución, tienen la finalidad de eliminar o minimizar la degradación de la calidad de los alimentos que resulta de los métodos tradicionales de conservación; es decir, prolongar el periodo de vida útil, producto de una mayor estabilidad microbiológica, causando los mínimos cambios posibles de los atributos sensoriales y nutricionales del alimento.(Ghoshal2018).

Las tecnologías emergentes pueden ser utilizados como métodos alternativos o algunas veces complementarios a los métodos tradicionales de conservación. Aunque estas tecnologías están todavía en pleno desarrollo, para un mejor estudio las dividimos en dos grupos: los métodos térmicos mejorados y métodos no térmicos.

Cabe especificar, que los tratamientos térmicos mejorados persiguen: un calentamiento más eficiente (menor consumo de energía que los tratamientos térmicos tradicionales), más uniforme, más rápido y menos agresivo para el producto. Veamos a continuación más a detalle algunas de estas tecnologías. (Smetana etal. 2019)

### 1. Calentamiento óhmico

El calentamiento por resistencia eléctrica o calentamiento óhmico no es un fenómeno nuevo en la historia del conocimiento humano. En el siglo XIX hubo una tentativa de usar esta tecnología en el área de preservación de alimentos o, más específicamente, para pasteurización de leche. Sin embargo, las limitaciones técnicas de aquella época, como por ejemplo, la ausencia de un material inerte para fabricar los electrodos necesarios para generar corriente eléctrica, impidieron el avance de las investigaciones. De acuerdo con Ayadi et al. (2004), en los últimos 20 años, acompañado al desarrollo de nuevos materiales y equipos, el calentamiento óhmico ha sido estudiado como una alternativa para procesar alimentos.

En este proceso, se aplica una corriente eléctrica en el medio conductor (alimento) resultando en generación interna instantánea de calor. De acuerdo con Icier e Illici (2005), el alimento conectado a electrodos funciona como una resistencia eléctrica en el circuito formado durante el calentamiento óhmico. Cuando un material conductor y al mismo tiempo poseedor de una determinada resistencia eléctrica es sometido a una corriente eléctrica, ocurren choques de los electrones libres contra los átomos. Este proceso, conocido como efecto térmico o efecto Joule, promueve la transformación de energía eléctrica en energía térmica, con consecuente aumento de temperatura del material. Un ejemplo práctico de este principio es el calentamiento óhmico de salchicha, donde dos electrodos conectados a una fuente de energía son dispuestos en cada una de las extremidades del alimento. La salchicha irá sufrir calentamiento en el momento en que fuera sometida a la corriente eléctrica. Se observa además, una uniformidad de temperatura en el interior del producto, hecho muy importante para evitar pérdidas de calor en el ambiente. De acuerdo con de Alwis et al. (1992), la tasa de generación interna de calor que ocurre durante el calentamiento óhmico es determinada por la conductividad eléctrica del material ( $\kappa$ ). La siguiente ecuación describe esta dependencia:  $Q = \kappa E^2$ , donde Q es la tasa de generación interna de y E la fuerza del campo eléctrico.

La penetración de calor en el material que sufre calentamiento óhmico es uniforme. El producto, por tanto, no sufre efectos de gradiente de temperatura muy elevado en su interior. Partículas y líquido son simultáneamente calentados. La intensidad del calentamiento es gobernada por la uniformidad de la conductividad eléctrica del alimento a lo largo de toda su masa y el tiempo de residencia del mismo en el calentador óhmico. El calentamiento óhmico es particularmente interesante en el tratamiento de alimentos que poseen alto contenido de partículas, ya que la ausencia de agitación mecánica mantiene la

integridad de las partículas. De acuerdo con Cristianini (1989), los equipos de procesamiento óhmico pueden envolver alimentos que poseen 80% de sólidos y 20% de líquidos, mientras que en los intercambiadores de calor ese valor se limita a aproximadamente 50%. Según Zareifard *et al.* (2003), el calentamiento óhmico es bastante interesante en el procesamiento de alimentos que presentan dos fases, como por ejemplo, algunos purés con pedazos de frutas. Otras operaciones que utilizan el calentamiento por resistencia eléctrica envuelven el rápido cocimiento de papas y vegetales con las finalidades de blanqueamiento en escala industrial y preparación de alimentos en cocinas institucionales. Martínez-Bustos *et al.* (2005) comprobaron que el calentamiento óhmico causó efectos benéficos en almidones de yuca y yacón. Utilizando altos voltajes y tiempos cortos de procesamiento (123 V – 10 min) se obtuvieron índices de absorción de agua (50 °C) que variaron de 3,2 a 4,7% y de 3,7 a 5,4% e índices de solubilidad en agua (50 °C) de 1,2 a 2,2% y de 3,2 a 6,1% para almidones de yacón y yuca, respectivamente. Los análisis de viscosidad y propiedades térmicas indicaron que los tratamientos con mayores tiempos y máximos voltajes, gelatinizaron 70% del almidón nativo de yacón y 39,1% de almidón de yuca. Ellos concluyeron que los almidones obtenidos presentaron grados de gelatinización que muy bien se pueden aplicar en la industria alimenticia.

## 2. Calentamiento Electromagnético

Las técnicas de calentamiento electromagnético se han adoptado y aplicado con éxito al tratamiento térmico de diversos alimentos vegetales, tales como cereales, semillas y hierbas, mejorando su calidad, contribuyendo a la prolongación de su vida útil y

umentando su valor agregado. Esta técnica puede presentarse de dos formas: como calentamiento por microondas (MW) y calentamiento por radiofrecuencia (RF); que generalmente se aplican a alimentos después de la recolección o antes del almacenamiento bajo congelación.

### 2.1. Calentamiento por Microondas (MW)

Las MW se comportan de modo bastante semejante a la luz, que también es una forma de radiación electromagnética. Microondas son ondas electromagnéticas de radio situadas entre los rayos infrarrojos (cuya frecuencia es mayor) y las ondas de radio convencionales. Su longitud de onda va aproximadamente desde 1 mm hasta 30 cm (oscila entre 100 MHz a 100 GHz). Las microondas de los hornos están entre los 2,45 GHz y se generan con tubos emisores de electrones especiales como el klistrón o el magnetrón, que incorporan resonadores para controlar la frecuencia, o con osciladores o dispositivos de estado sólido especiales. Existen cuerpos que son transparentes, translúcidos u opacos, en relación a las microondas (papel, vidrio, loza, plástico, etc.) porque no afectan su propagación. Mientras que los cuerpos opacos reflejan esta radiación, sin dejarla penetrar, como los metales. Los cuerpos translúcidos son aquellos en los que la radiación penetra, se difunde en su interior y es absorbida por éste, como es el caso de los alimentos. (Punathil & Basak 2017)

Algunos de los ejemplos más interesantes utilizando estas tecnologías, son los resultados obtenidos en el proyecto europeo en el periodo 2000-2003 (FLAIR-FLOW)<sup>1</sup>, los cuales se pueden resumir como sigue:

- a) Utilizando técnicas de calentamiento por MW se obtuvo con éxito arroz sancochado, mejorándose su calidad y disminuyendo el

<sup>1</sup> FLAIR-FLOW es un proyecto cooperativo del programa Calidad de Vida de la Unión Europea. A través de una red se difunden los resultados de los proyectos de investigación

sobre alimentos a asociaciones de consumidores, profesionales de la salud y empresas de alimentos de veinticuatro países europeos.

consumo de energía y el tiempo de elaboración.

- b) Mediante un proceso combinado utilizando la germinación de guisantes, técnicas de calentamiento por MW y convencional, se consiguió mejorar la calidad de guisantes amarillos.
- c) Mediante choques de calor por calentamiento con MW, se redujeron los conteos microbianos hasta 3 ciclos log en hierbas aromáticas, con una disminución muy pequeña del valor de volátiles.

### **2.1. Calentamiento por Radiofrecuencia (RF)**

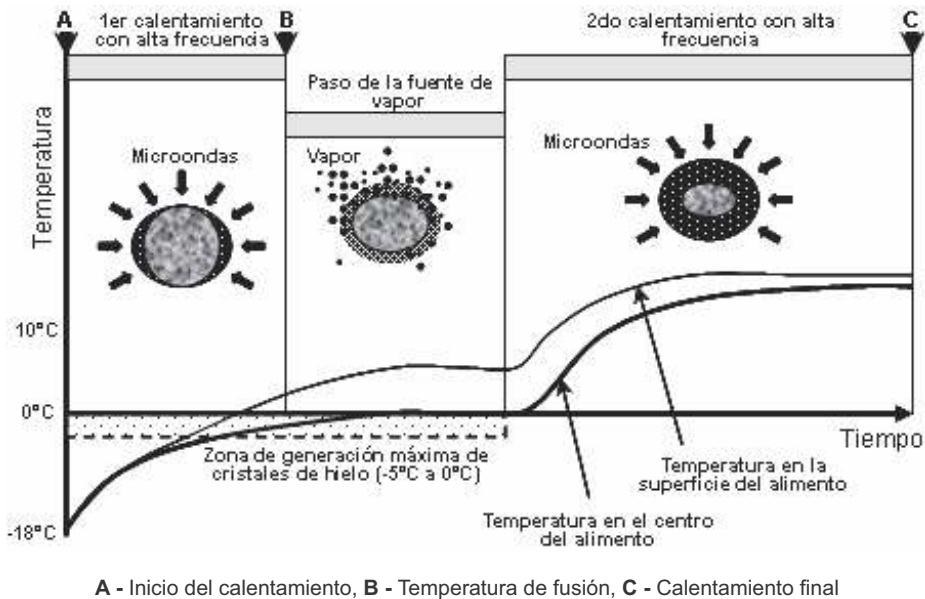
En la calefacción por RF, el calor se genera dentro del producto debido a la fricción de las moléculas y los iones oscilantes como resultado de la aplicación de un campo eléctrico alterno. La calefacción por RF es influenciada principalmente por las propiedades dieléctricas del producto. El nivel de la frecuencia, la temperatura y las características del alimento (viscosidad, contenido de agua y composición química) afectan las características dieléctricas y así la calefacción por RF en alimentos.

McKenna et al. (2005), argumentan que la calefacción por RF puede ser especialmente eficaz para alimentos de diámetro grande tales como productos cárnicos ya que frecuencias bajas (27,12 MHz) de radiación electromagnética incidente permite mayores profundidades de penetración que otras formas de calefacción dieléctrica tal como la calefacción por MW. Laycock et al. (2003) divulgaron que la calefacción por RF con 27,12 MHz puede servir para reducir tiempos de cocción hasta 90% en carne de vaca entera, picada y pulverizada. Sin embargo, la calidad alimenticia y particularmente la textura de algunos de los productos fueron afectadas. Brunton et al. (2005) indica que la calefacción con RF de productos al aire se ha encontrado ser irrealizables y por lo tanto es necesario rodear a los productos con agua caliente durante la cocción con RF. Una película de polietileno de alta densidad, que sostuvo el

producto y permitió la calefacción correcta facilita la circulación del agua del producto. Este estudio ha demostrado que 450 W de energía de RF podrían reducir tiempos de cocción a 7 minutos 40 s con respecto a 33 minutos por cocción convencional, sin afectar la calidad del producto resultante con respecto a textura y a color.

Estudios respecto a inactivación de microorganismos fueron reportados por Awuah et al. (2005), quienes usando un calentador de 27,12 MHz de RF, observaron que para un tiempo de residencia total de 55,5 s (es decir 29,5 s en el tubo aplicador y 26 s en el tubo contenedor), fueron encontrados reducciones de 5 log para *Listeria* y 7 log para *E. coli*, a 1200 W y una temperatura de salida del tubo aplicador de 65°C aproximadamente. Este estudio demuestra que la calefacción del RF se podría utilizar para pasteurizar con eficacia la leche manipulando niveles de energía incidente y caudal.

Recientemente, Hideko et al. (2005), patentaron un método capaz de descongelar un alimento de manera uniforme y en corto tiempo (Figura 1). Este método consiste en tres pasos: primero una calefacción con alta frecuencia (hasta un punto próximo a su temperatura de fusión), luego un tratamiento con vapor iniciándose en la temperatura de fusión (formándose una película de condensación en la superficie del producto congelado), y por último la aplicación de un segundo tratamiento con alta frecuencia para otra calefacción. El seguimiento del calentamiento del producto se llevó a cabo utilizando un sensor de temperatura hasta que la temperatura especificada en cada sección fue alcanzada.



A - Inicio del calentamiento, B - Temperatura de fusión, C - Calentamiento final

**Figura 1.** Descongelación de alimentos utilizando calentamiento electromagnético  
Hideko et al. (2005)

Iacovacci y Cavestro (2001) patentó un equipo industrial para calentar alimentos, especialmente carnes, a una radiofrecuencia (RF) predeterminada. Ellos precisan que este equipo aplicado para cocinar jamones, la reducción del tiempo de cocción es considerable (80% aproximadamente) al ser comparado con métodos tradicionales.

Mientras que la mayoría de estudios se han conducido bajo condiciones de flujo laminar, otros estudios son necesarios para justificar su uso industrial usando condiciones más realistas de flujo. El trabajo futuro debe también comparar el efecto de energías más altas de salida de RF y de los tiempos de cocción más cortos resultantes en calidad del producto.

### 3. Campos Magnéticos Oscilantes

Los campos magnéticos oscilatorios u OMF (por sus siglas en inglés *Oscillating Magnetic Fields*) fueron explorados para su uso potencial como método de inactivación microbiana, aplicando campos magnéticos en la forma de amplitud constante o de amplitudes de ondas oscilantes. Para que los microorganismos sean inactivos

por OMF, los alimentos necesitan tener una resistividad eléctrica elevada (mucho más que 10 a 25 ohmios-cm). La intensidad de campo magnético aplicado depende de la resistividad eléctrica y del espesor del alimento que está siendo magnetizado. Así, corresponde mayores intensidades de campos magnéticos a productos con grande resistividad y espesor "(Mok, Her, Kang, Hoptowitz, & Jun 2017)

Respecto al proceso de OMF, Barbosa-Cánovas et al. (1999), mencionan que la utilización de OMF, con una densidad de flujo magnético de 3-50 T y frecuencias de 5-500 kHz, causan la inactivación de microorganismos. El tiempo de tratamiento requerido para la conservación de alimentos es mínimo (25  $\mu$ s o por arriba de pocos milisegundos), además de que el proceso no genera un aumento significativo de temperatura en el alimento. Los tratamientos de OMF son realizados a presión atmosférica y bajo temperaturas moderadas. La temperatura del alimento aumenta 2 a 5°C durante el proceso. De acuerdo con Hofmann (1985) exposiciones a campos magnéticos causan inhibición en el

crecimiento y en la reproducción de los microorganismos. En su patente Hofmann reportó los resultados que obtuvo al experimentar sobre la inactivación de microorganismos con OMF en leche, yogurt y jugo de naranja. La conclusión a la que llegó es que solamente un pulso de OMF era adecuado

para reducir la población bacteriana en el alimento a razón de 102 y 103 cfu/g. 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 (Tabla 1).

**Tabla 1.** Inactivación de microorganismos causantes de descomposición de alimentos (Hofmann 1985).

Tipo de alimento	Temperatura (°C)	Intensidad de campo (T)	Núm. de pulsos	Frecuencia de pulsos (kHz)	Carga inicial (micro/g)	Carga final (micro/g)
Leche ( <i>S. thermophilus</i> )	23	12	1	6	25000	970
Yogurt ( <i>Saccharomyces</i> )	4	40	10	416	3000	25
Jugo de naranja ( <i>Saccharomyces</i> )	20	40	1	416	25000	6

Yoshimura (1989) clasificó los efectos de campos magnéticos en el crecimiento y en la reproducción microbiana como (a) inhibitorios, (b) estimulatorios, y (c) ninguna observación.

Respecto a los **mecanismos de inactivación microbiana**, Pothakamury et al. (1993) relataron 2 teorías para explicar los mecanismos de la inactivación para las células colocadas en los OMF. La primera teoría indicó que un OMF podría debilitar las ligaciones entre los iones y proteínas, basados en que muchas proteínas vitales al metabolismo de la célula contienen iones. Una segunda teoría considera que los OMF afectan específicamente los enlaces calcio-proteínas (calmodulin). Los OMF hacen que el plano de la vibración gire, o prosiga en el sentido del campo magnético en una frecuencia que sea exactamente igual al de la frecuencia del ciclotrón (un acelerador en que las partículas se mueven en trayectoria espiral constante) del calcio ligado. Adicionar un campo magnético "oscilando" en la frecuencia del ciclotrón perturba la precisión en tal magnitud que debilita la ligación entre el ión calcio del calmodulin. Hoffman (1985) sugirió, que la inactivación de los microorganismos puede ser basado, en la teoría que el OMF puede acoplar

energía en la parte magnética activa de moléculas grandes tales como el ADN. Dentro de la escala de 5-50 T, la cantidad de energía acoplada para la oscilación a 1 dipolo en el ADN es  $10^{-2}$  a  $10^{-3}$  eV. Diversas oscilaciones y el conjunto colectivo de activación local pueden resultar en el colapso de ligaciones covalentes en la molécula del ADN y en la inhibición del crecimiento de los microorganismos. Se dice también que los campos magnéticos de intensidad elevada pueden afectar la fluidez de la membrana y las otras propiedades de las células.

Por todo esto, hay una falta significativa de información en la habilidad del tratamiento con OMF en la inactivación de microorganismos. Algunas de las necesidades más significativas de investigación son: Identificar los patógenos resistentes claves, establecer los efectos de OMF en la inactivación microbiana, elucidar la cinética de destrucción con OMF, determinar el mecanismo de acción de los OMF, determinar los factores críticos y efectos en el proceso de inactivación microbiana, validar el proceso, evaluar organismos indicadores y sustitutos apropiados, e identificar desvíos al proceso

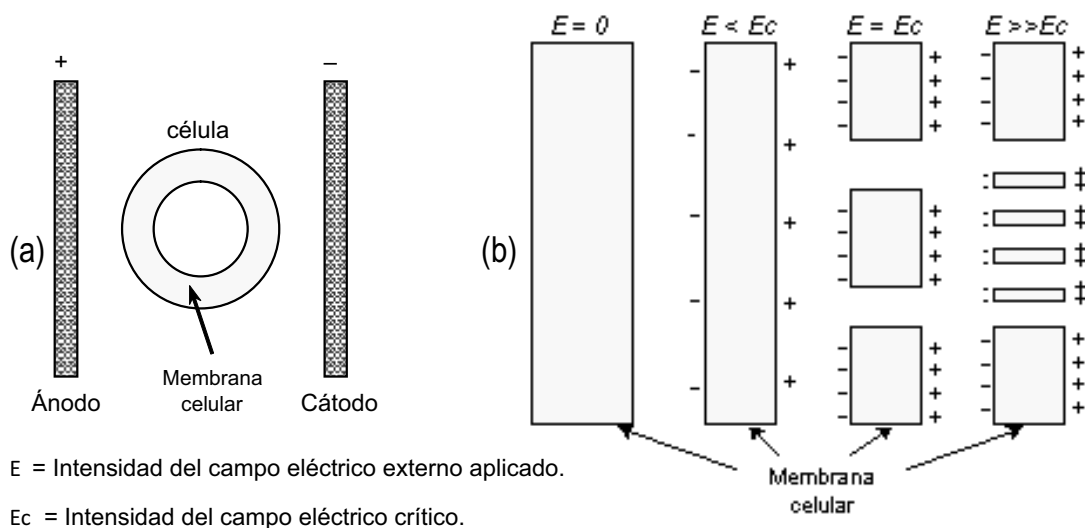
determinando maneras de dirigirseles.

#### 4. Campos Eléctricos Pulsados

Este proceso, conocido como PEF (por sus siglas en inglés *Pulsed Electric Fields*), involucra la aplicación de pulsos de alto voltaje, generalmente de 10 a 80 kV/cm, con duración de 1 a 100 microsegundos y con un número total de pulsos de 1 a 100, sobre alimentos situados entre dos electrodos (Figura 2). Este proceso puede ser realizado a temperatura ambiente o a temperaturas de refrigeración. A inicios del siglo veinte se esterilizó leche utilizando un proceso conocido como *Electro-pure process*, el cual fue introducido a Estados Unidos de Norteamérica desde Europa. Este proceso fue uno de los primeros intentos de la utilización de campos eléctricos en la inactivación de microorganismos. (Sampedro, Rivas, Rodrigo, Martínez, & Rodrigo 2007)

La importancia de PEF en la conservación de alimentos, radica en el efecto letal que tiene para la inactivación de microorganismos. Cuando se aplica un campo eléctrico externo a la célula, induce un potencial eléctrico sobre la membrana celular, producto de una acumulación de cargas en ambos lados de su superficie. Cuando el potencial transmembrana inducido excede un valor crítico de aproximadamente 1 voltio, las cargas generadas se atraen ocasionando la compresión de la membrana, reduciendo su grosor y provocando la formación de poros (Wang et al. 2018)

Exponer a los microorganismos a campos eléctricos suficientemente intensos, provoca cambios en las propiedades eléctricas de la membrana celular, disminuyendo su resistencia y aumentando su conductividad eléctrica debido a la formación de poros en dicha membrana.



**Figura 2.**(a) Disposición de la célula dentro de los electrodos; y (b) modelo de la formación de poros en la membrana de células biológicas expuestas a campos eléctricos externos.

Este fenómeno es conocido como “*rompimiento eléctrico*” (*electrical breakdown*) el cual puede ser reversible o irreversible dependiendo de la intensidad y duración del tratamiento eléctrico.

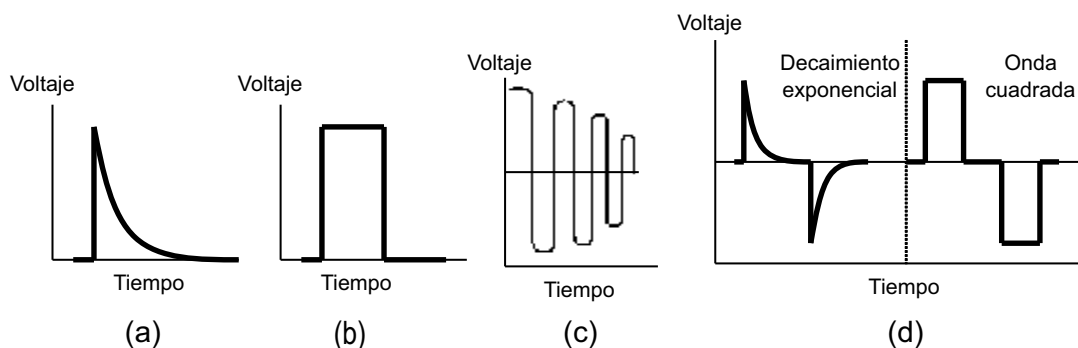
El potencial transmembrana que causa su rompimiento eléctrico es conocido como voltaje crítico  $V_c$ , y depende del tipo, tamaño y etapa de crecimiento de la célula (Tabla 2).

**Tabla 2.** Tamaño de la célula y potencial transmembrana inducido de diferentes microorganismos (Castro et al. 1993)

Microorganismos	$d_0$ (nm)	$l$ (nm)	$V$ (mV)	$\psi$	$V_c$ (V)
E. coli (4 h)	1,15	6,9	7,2	1,06	0,26
E. coli (30 h)	0,88	2,2	1,4	1,15	1,06
K. pseudomona	0,83	3,2	1,7	1,09	1,26
P. aeruginosa	0,73	3,9	1,6	1,07	1,25
S. aureus	1,03	--	0,6	1,50	1,00
L. monocytogenes I	0,76	1,7	0,8	1,18	0,99
C. albicans	4,15	--	38,0	1,50	2,63

El **sistema** para la conservación de alimentos utilizando PEF, está compuesto principalmente de los siguientes elementos: una fuente de alto voltaje, un banco de capacitores, un interruptor de alto voltaje y una cámara de tratamiento. El sistema básicamente funciona de la siguiente manera: la energía suministrada por la fuente de alto voltaje de corriente directa, es almacenada en un banco de capacitores. La energía recolectada por los capacitores es descargada en forma de pulsos de corta duración, hacia la cámara de tratamiento por medio de un interruptor, y así generar el campo eléctrico que se requiere para el tratamiento de los alimentos. Los alimentos líquidos son considerados como conductores eléctricos por contener grandes concentraciones de iones, los cuales son

portadores de cargas eléctricas. Para generar campos eléctricos pulsados de alta intensidad dentro del alimento y evitar que una gran cantidad de corriente fluya a través del mismo, es necesario que el tiempo entre los pulsos sea mucho más largo que la duración del pulso aplicado. El campo eléctrico puede ser aplicado en forma de pulsos de decaimiento exponencial, pulsos de onda cuadrada, pulsos oscilatorios y pulsos bipolares (Figura 3). Investigaciones han demostrado que los pulsos oscilatorios son los menos eficientes para la inactivación de microorganismos. Los pulsos de onda cuadrada presentan mayor eficiencia energética y mayor letalidad que los pulsos de decaimiento exponencial.



**Figura 3.** Modelos para pulsos (a) de decaimiento exponencial, (b) de onda cuadrada, (c) oscilatorios, y (d) bipolares.



La cámara de tratamiento es uno de los componentes más importantes y complicados del sistema. Esta consiste en dos electrodos soportados por un material aislante que también forma un recinto para contener al alimento que va a ser tratado. El procesamiento de alimentos por medio de la tecnología PEF se puede realizar en cámaras estáticas o continuas. Estudios a nivel laboratorio se han llevado a cabo con cámaras de tratamiento estáticas y continuas. Para tratar alimentos a nivel planta piloto es recomendable la utilización de cámaras continuas, ya que son más económicas y eficientes. Diseños diversos se pueden encontrar en Sale y Hamilton (1967), Zhang et al. (1995) y Lozano et al. (2000).

Una gran cantidad de estudios se han llevado a cabo para comprobar el efecto que tiene la utilización de PEF sobre la inactivación de microorganismos, y así validar su uso como un proceso de pasteurización y esterilización no térmica de alimentos. Las primeras investigaciones sobre los efectos bactericidas de PEF, se realizaron utilizando modelos de sistemas alimentarios tales como agua destilada, agua desionizada, solución neutra de cloruro de sodio, tampón de fosfato, leche simulada ultrafiltrada, entre otros. Sale y Hamilton (1967), fueron los primeros en estudiar el efecto de PEF sobre la inactivación de microorganismos; demostraron que la intensidad del campo eléctrico aplicado y el tiempo de tratamiento son dos factores importantes para ocasionar la muerte de microorganismos. Probaron que dicha inactivación fue resultado de los pulsos eléctricos y no por la acción de productos químicos generados de la electrólisis o por el aumento de temperatura. Jayaram et al. (1992), aplicaron PEF para la inactivación de células *Lactobacillus brevis* y concluyeron que la destrucción de la célula se debe principalmente a la ruptura dieléctrica de la membrana celular y no por la acción del calor generado durante el tratamiento. Álvarez et al. (2000), estudiaron la influencia de los factores: fase de crecimiento celular, concentración celular inicial, pH y

conductividad del medio; en la inactivación de *Salmonella senftenberg* por PEF, encontrando que las células son más resistentes en el inicio de su fase logarítmica y en su fase estacionaria y determinaron que la inactivación microbiana no está en función de la concentración inicial de células presentes en el medio. También observaron que la inactivación celular era mayor a un pH neutro que a un pH ácido del medio.

En el caso de la utilización de PEF en alimentos, los estudios reportados en la literatura especializada no son muchos. Algunos trabajos relevantes son: Yeom et al. (2000) que realizaron un estudio sobre la inactivación de microorganismo aeróbicos, hongos y levaduras presentes en el jugo de naranja, utilizando un sistema PEF a nivel planta piloto; los resultados indicaron que no se observó crecimiento alguno de bacterias, hongos y levaduras durante 112 días de almacenamiento a diferentes temperaturas. Evrendillek et al. (2001) realizaron un estudio con el fin de evaluar la vida útil de leche sabor a chocolate procesada por PEF, encontrando que este tipo de proceso es muy efectivo para mantener la estabilidad microbiológica del producto, así como para conservar sus atributos sensoriales.

## Conclusiones

Es necesario precisar, que los nuevos métodos de conservación de alimentos buscan conseguir resultados similares o superiores a los métodos tradicionales en cuanto a su efectividad en la destrucción de microorganismos preservando mejor la calidad sensorial y nutricional del alimento. Para justificar esta afirmación se ha incluido en los temas expuestos anteriormente, información selecta y actual sobre estas tecnologías. Debemos reconocer que falta mucha información acerca de estas tecnologías que sería imposible colocarla en esta revisión por su límite de espacio, pero se espera que sirva de introducción a este tema tan interesante y novedoso sin dejar de mostrar el aspecto

científico del tema. Recomendamos revisar las publicaciones de Barbosa-Cánovas *et al.* (1999), Ohlsson & Bengtsson (2002), y Butz & Tauscher (2002), para conocer aspectos adicionales de estas tecnologías o publicaciones especializadas para conocer con más profundidad sus aplicaciones.

### Referencias Bibliográficas

- De Alwis, A.A., Fryer, P.J. (1992). Operability of the ohmic heating process: electrical conductivity effects. *Journal of Food Engineering*, 15: 21-48.
- Ayadi, M.A., Leuliet, J.C., Chopard, F., Berthou, M., Lebouché, M. (2004). Continuous ohmic heating unit under whey protein fouling. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5: 465-473.
- Awuah, H.S., Ramaswamy, A., Economides, Mallikarjunan, K. (2005). Inactivation of *Escherichia coli* K-12 and *Listeria innocua* in milk using radio frequency (RF) heating. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6: 396-402.
- Barbosa-Cánovas, G., Pothakamury, U., Palou, E.; Swanson, B. (1999). Conservación no Térmica de Alimentos. Editorial Acribia. España.
- Butz, P., Tauscher, B. (2002). Emerging technologies: chemical aspects. *Food Research International*, 35(2-3): 279-284.
- Brunton, N.P., Lyng, J.G., Wenqu, L. (2005). Effect of radio frequency (RF) heating on the texture, colour and sensory properties of a comminuted pork meat product, *Food Research International* 38(3): 337-344.
- Cristianini, M. (1989). Ohmic heating: a process overview and its characteristics as food preservation technique. University of Reading, London. Dissertation – Master of Food Science.
- Evrendilek, G., Akdemir, W., Dantzer, C., Streaker, P., Ratana T.; Zhang, Q. (2001). Shelf-life Evaluations of Liquid Foods Treated by Pilot Plant Pulsed Electric Field. *Journal Food Processing Pres.*, 25(4): 283-297.
- Ghoshal, G. (2018). Chapter 2 - Emerging Food Processing Technologies. En A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Food Processing for Increased Quality and Consumption* (pp. 29-65). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811447-6.00002-3>
- Hideko, A., Ikuhiro, I., Masato, M. (2005). Defrosting Method. Patent Num. WO2005046362. Japan.
- Hoogland, H. (2001). High Pressure Sterilization: Novel Technology, New Products, New Opportunities. *New Food*, 1(4): 21-26.
- Hofmann, G.A. (1985). Deactivation of microorganisms by an oscillating magnetic field. U.S. Patent 4524079.
- Iacovacci, V., Cavestro, M. (2001). Industrial apparatus to heat foodstuffs, particularly meat-products, by means of a radio frequency oscillating electromagnetic field. United States Patent 6278093. WO98/27823.
- Icier, F., Illicali, C. (2005). Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. *Food Research International*, 38: 1135-1142.
- Jayaram, S., Castle, G., Margatitits, A. (1992). Kinetics of sterilization of *Lactobacillus brevis* cells by the application of high voltage pulses. *Biotechnology Bioengineering*, 40(11): 1412-1420.
- Laycock, L., Piyasena, P., Mittal, G.S. (2003). Radio frequency cooking of ground, comminuted and muscle meat products. *Meat Science*, 65: 959-965.
- Lozano, E., Añón, C., Parada-Arias, E., Barbosa-Cánovas, G.V. (2000). Trends in Food Engineering. Technomic Publishing Company, Inc., U.S.A., 209-220.
- McKenna, B.M., Lyng, J., Brunton, N. and Shirsat, N. (2005). Advances in radio

- frequency and ohmic heating of meats. *Journal of Food Engineering* (Article in Press).
- Martinez-Bustos, F., López-Soto, M., Zazueta-Morales, J., Morales-Sánchez, E. (2005). Preparación y propiedades de almidones pregelatinizados de yuca (*Manihot esculenta*. Crantz) y jícama (*Pachyrhizus erosus*) usando calentamiento óhmico. *México. Agrociencia*, 39(3): 275-283.
- Mok, J. H., Her, J.-Y., Kang, T., Hoptowit, R., & Jun, S. (2017). Effects of pulsed electric field (PEF) and oscillating magnetic field (OMF) combination technology on the extension of supercooling for chicken breasts. *Journal of Food Engineering*, 196, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.002>
- Ohlsson, T.; Bengtsson, N. (2002). *Minimal processing technologies in the food industry*. Cambridge, England. Woodhead.
- Pothakamury, U.R., Barbosa-Cánovas, G.V., and Swanson, B.G. (1993). Magnetic-field inactivation of microorganisms and generation of biological changes. *Food Technology*, 47(12): 85-93.
- Punathil, L., & Basak, T. (2017). *Microwave Food Processing Applications: Modeling Investigations*. En Reference Module in Food Science. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21845-3>
- Sale, A.J., Hamilton, W.A. (1967). Effects of high electric fields on microorganisms. I. Killing of bacteria and yeast. *Biochemical Biophysics, Acta* 148: 781-788.
- Sampedro, F., Rivas, A., Rodrigo, D., Martínez, A., & Rodrigo, M. (2007). Pulsed electric fields inactivation of *Lactobacillus plantarum* in an orange juice-milk based beverage: Effect of process parameters. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 931-938. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.08.013>
- Smetana, S., Terjung, N., Aganovic, K., Alahakoon, A. U., Oey, I., & Heinz, V. (2019). Chapter 10 - Emerging Technologies of Meat Processing. En C. M. Galanakis (Ed.), *Sustainable Meat Production and Processing* (pp. 181-205). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00010-9>
- Wang, M.-S., Wang, L.-H., Bekhit, A. E.-D. A., Yang, J., Hou, Z.-P., Wang, Y.-Z., ... Zeng, X.-A. (2018). A review of sublethal effects of pulsed electric field on cells in food processing. *Journal of Food Engineering*, 223, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.035>
- Yeom, H., Streaker, C., Zhang, Q., Min, D. (2000). Effects of Pulsed Electric Fields on the Activities of Microorganisms and Pectin Methyl Esterase in Orange Juice. *Journal Food Science*, 65 (8): 1359-1363.
- Yoshimura, N. (1989). Application of magnetic action for sterilization of food. *Shokukin Kihatsu*, 24: 46-48.
- Zareifard, M.R., Ramaswamy, H.S., Trigui, M., Marcotte, M. (2003). Ohmic heating behavior and electrical conductivity of two-phase food systems. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4: 44-45.
- Zhang, Q., Barbosa-Cánovas, G., Swanson, B. (1995). Engineering Aspects of Pulsed Electric Field Pasteurization. *Journal Food Engineering*, 25(2): 261-281.