

APLICACIÓN  
DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES  
DE PROCESADO MÍNIMO  
EN EL SECTOR PESQUERO

Editado por el Centro Tecnológico del Mar  
Fundación CETMAR  
Área de Tecnología de Productos Pesqueros



## **APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES DE PROCESADO MÍNIMO EN EL SECTOR PESQUERO**

---

Editado por el Centro Tecnológico del Mar  
Fundación CETMAR  
Área de Tecnología Productos Pesqueros

Edita: Centro Tecnológico del Mar - Fundación CETMAR  
Coordinación y Edición: Área de Tecnología Productos Pesqueros  
ISBN: 978-84-611-4804-2  
Depósito legal: PO-40-07  
Diseño y Maquetación: C.A. Gráfica  
Imprime: C.A. Gráfica

## PRÓLOGO

A finales del pasado año el Centro Tecnológico del Mar organizó un Seminario cuyo título era similar al del presente libro. Gracias a la desinteresada colaboración de un amplio abanico de expertos, provenientes del estamento científico y académico, así como del ámbito empresarial, fue posible abordar por primera vez y de forma monográfica las posibilidades que este tipo de tecnologías ofrecían al desarrollo del sector pesquero. A raíz de aquel evento, surgió la idea de compendiar todos los contenidos allí expuestos en un libro. Una manera de plasmar de forma tangible toda la información allí vertida y una herramienta de consulta y uso posterior que daba también respuesta a la inquietud que expresaron los asistentes. Este libro es pues una prolongación de aquel Seminario y, de hecho, todos los capítulos que lo componen son fruto de la aportación de aquellos profesionales que por entonces participaron como ponentes.

Bajo la denominación de Tecnologías Emergentes de Conservación, se engloban una amplia gama de posibilidades tecnológicas, de muy distinta índole y fundamento, que dan respuesta a aspectos parciales o globales de los procesos productivos y de conservación del sector agroalimentario en general. En mayor o menor medida, a todos nos resultan familiares las denominaciones de dichas tecnologías y estaría fuera de lugar hacer aquí una enumeración de las mismas o de sus características, máxime cuando el libro da buena cuenta de ello.

Si bien en otros sectores agroalimentarios, la incidencia y penetración de todo este entramado de tecnologías es más patente, en el pesquero, las posibilidades que pudieran aportar son en gran medida una incógnita. Los distintos capítulos que integran el libro, y que recogen la práctica totalidad de tecnologías emergentes por procesado mínimo existentes, revelan al lector diversos aspectos relacionados con cada una de ellas: desde sus fundamentos científicos, pasando por aplicaciones industriales o posibilidades teóricas. Se trata de dar respuesta a preguntas tan básicas como necesarias a la hora de un posicionamiento industrial o científico como saber qué tipo de productos originarían, en qué procesos son aplicables, qué ventajas e inconvenientes aportarían, qué riesgos alimentarios pueden conllevar, etc.

La globalización y diversificación de mercados constituye un gran reto al que el sector transformador y elaborador de productos de la pesca debe enfrentarse en unas condiciones de alta competitividad. Este reto pasa obviamente por lograr satisfacer las necesidades de un consumidor que demanda productos más variados, seguros y con un menor grado de procesamiento. Potencialmente, la adopción de algunas de estas tecnologías, fruto de la continua evolución científica, posibilitarían la elaboración de productos que cubrieran esas exigencias.

Manifiestamente, es intención y vocación de este libro servir de guía y orientación a todos aquellos que quieran adentrarse en este auténtico universo y sopesar sus múltiples posibilidades cara a la mejora, diversificación e innovación de los productos pesqueros y, en consecuencia, contribuir a un mejor conocimiento de un campo que ofrece tantas alternativas como lo es el estas tecnologías.

Este libro no hubiera llegado a ser una realidad de no haber contado con la contribución de ciertas entidades así como con la desinteresada colaboración de un amplio número de profesionales. Queremos hacer llegar nuestro profundo agradecimiento a la Fundación CAIXAGALICIA que habilitó los fondos necesarios para la celebración del Seminario germen de la idea. Igualmente, estamos en débito con todos los científicos y representantes de empresa que han dado forma y contenido al texto y al ya mencionado seminario. Finalmente, nada hubiera sido posible de no contar con el apoyo del Instituto Gallego de Promoción Económica IGAPE que aportó los fondos necesarios para sacar adelante nuestro empeño. A todos ellos, desde estas páginas, agradecemos su esfuerzo, generosidad y compromiso.

Manuel Varela Lafuente  
*Director Gerente*  
*Centro Tecnológico del Mar*

## ÍNDICE:

<b>Capítulo I:</b> Aplicaciones de las Microondas en Alimentos .....	9
<b>Capítulo II:</b> Aplicación de la Cocción a Vacío a los Productos de la Pesca .....	27
<b>Capítulo III:</b> Platos Cocinados. Valor Añadido al Pescado .....	39
<b>Capítulo IV:</b> Perspectivas de la Utilización de Pulsos Eléctricos de Alta Intensidad de Campo en la Conservación de Productos Derivados de la Pesca .....	53
<b>Capítulo V:</b> La Irradiación de Alimentos y el Sector Pesquero Español .....	89
<b>Capítulo VI:</b> Tecnología de Ionización con Electrones de Alta Energía Aplicada a Alimentos .....	113
<b>Capítulo VII:</b> Aplicaciones Industriales de las Altas Presiones .....	131
<b>Capítulo VIII:</b> Uso de la Alta Presión en Miosistemas. Importancia en el Procesado del Pescado .....	157
<b>Capítulo IX:</b> Procesos Discontinuos, Semicontínuos y Contínuos de Altas Presiones. Su Influencia en la Seguridad Alimentaria .....	177
<b>Capítulo X:</b> Potenciales Usos de los Ultrasonidos en la Industria Alimentaria .....	185
<b>Capítulo XI:</b> Productos del Mar en Atmósfera Modificada .....	203
<b>Capítulo XII:</b> Envases Activos e Inteligentes para Alimentos .....	221



## Capítulo I:

### APLICACIONES DE LAS MICROONDAS EN ALIMENTOS

---

**P. Fito\*, E. de los Reyes\*\*, R. de los Reyes\*  
y M. Castro-Giráldez\***

\*Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo  
Universidad Politécnica de Valencia  
Apdo. Correos 22012. 46071 Valencia. España  
Tlfno.: +34-963877056. Fax: +34-963877956  
e-mail: pfito@tal.upv.es

\*\*ITACA (ETS de Telecomunicaciones)  
Universidad Politécnica de Valencia

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las posibles aplicaciones del calentamiento por microondas en el procesado de alimentos se ha dinamizado enormemente en los años 80 y 90, a pesar de ser una técnica ampliamente conocida desde los 40. El interés por la aplicación del calentamiento por microondas (MW) en las industrias de procesado de alimentos tuvo su origen en los años que siguieron al final de la Segunda Guerra Mundial, como continuación de las investigaciones que habían dado lugar al desarrollo del Radar (Decareau, 1985). Sin embargo, razones tecnológicas y los altos costes de inversión frenaron el desarrollo de aplicaciones hasta la llegada de los 60. En la actualidad, el abaratamiento de los magnetrones de baja potencia causado por la gran difusión de los hornos domésticos y de restauración en la década de los 80, ha fomentado un gran interés en profundizar en el conocimiento de los fenómenos que ocurren en el alimento durante el tratamiento de los alimentos con energía microondas, así como su repercusión en la calidad final del producto. Esto ha impulsado las investigaciones en ese campo con la consiguiente obtención de multitud de datos experimentales de

propiedades dieléctricas de alimentos (Bengtsson and Risman, 1971; Tinga and Nelson, 1973; Kent, 1987).

Para obtener una idea general de algunas de las aplicaciones de la energía de microondas en alimentos, en la tabla 1 se comentan las ventajas e inconvenientes del uso de éstas frente a los procesos convencionales.

Aplicación	Objetivos	Alimentos
Descongelación	Alcanzar una temperatura por encima de la congelación	Carne, pescado, mantequilla
Secado al vacío	Reducir el contenido en humedad	Semillas, granos, zumos cítricos
Liofilización		Carne, vegetales, fruta
Secado		Pasta, arroz, alimentos tipo "snack"
Cocinado	Modificar el sabor y la textura	Bacon, elaborados cárnicos, patatas
Horneado	Calentar y activar levaduras	Pan, pastelería, bollería
Tostado	Calentar y favorecer las reacciones térmicas	Nueces, café, cacao
Escaldado	Inactivar enzimas	Fruta, maíz, patatas
Pasteurización	Inactivar microorganismos patógenos	Productos lácteos, comidas preparadas
Esterilización	Inactivar esporas de microorganismos	Platos preparados, quesos suaves, leche y zumos de frutas

*Adaptado de George (1992) .*

*Tabla 1 – Aplicaciones típicas de la energía microondas en el procesado de alimentos*

Es importante destacar que otros estudios recientes centran la atención en el uso de las microondas de baja potencia para controlar la calidad de algunos alimentos durante su procesado. Esta aplicación de las microondas está teniendo un gran impacto y numerosos estudios se están llevando a cabo actualmente en todo el mundo.

En este capítulo se van a presentar algunos de los trabajos realizados en este campo en el departamento de Tecnología de los Alimentos y en el Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo de la Universidad Politécnica de Valencia.

## **2. EQUIPO DE SECADO COMBINADO POR AIRE CALIENTE Y MICROONDAS**

El secado por aire caliente es una técnica de procesado de los alimentos utilizada con la finalidad de alargar su vida útil y más recientemente enfocada también al diseño de nuevos productos. Sin embargo, en algunos casos este método conlleva una pérdida de calidad del producto asociada a las altas temperaturas empleadas y/o a la duración del proceso. El secado por microondas se ha descrito también como un método alternativo con ventajas e inconvenientes frente al secado convectivo. Entre las ventajas se pueden citar la rapidez de la operación y el ahorro energético (Decareau, 1985). Además, puesto que las microondas penetran en el alimento y no actúan sólo a nivel de superficie, la conversión de la energía en calor es más eficiente. La aceleración del proceso conlleva una mayor calidad del producto en términos de sabor, textura y valor nutricional (Giese, 1992).

Desde este punto de vista, un proceso de secado que combina ambos métodos puede aunar lo ventajoso de cada uno de ellos: el calentamiento interno rápido del producto debido a la energía de microondas con los efectos de superficie deseables producidos por las técnicas convencionales como son un cierto pardeamiento, la reducción superficial de la carga microbiana o el precalentamiento del producto (Giese, 1992).

El equipo que en este trabajo se ha utilizado fue diseñado en el Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universidad Politécnica de Valencia (Martín, 2002). La parte de dicho equipo correspondiente a la aplicación de las microondas, así como la construcción de la instalación experimental, se llevó a cabo en colaboración con el Departamento de Comunicaciones de la Escuela Técnica Superior de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.

El equipo se construyó de forma que pudieran variarse de forma controlada tanto la potencia de las microondas como la temperatura y velocidad del aire empleadas para el secado convectivo. Respecto a la frecuencia de las microondas, se fijó en 2,45 GHz, única autorizada legalmente en Europa para uso en la industria agroalimentaria. En cuanto a la humedad relativa del aire, se prefirió que el equipo trabajara directamente con aire ambiente, sin necesidad de un acondicionamiento previo. Aunque este hecho dificulta el estudio del proceso, abarata el coste de la operación.

A continuación aparece el esquema de los componentes de las dos líneas que constituyen el equipo diseñado, totalmente independientes entre sí físicamente (dispuestas paralelamente) y en lo que respecta a su funcionamiento, con el fin de poder emplearlas conjuntamente o por separado. Con la primera de estas líneas se consigue aplicar aire caliente dentro de la cavidad del horno (Figura 1) y con la segunda, microondas (Figura 2).

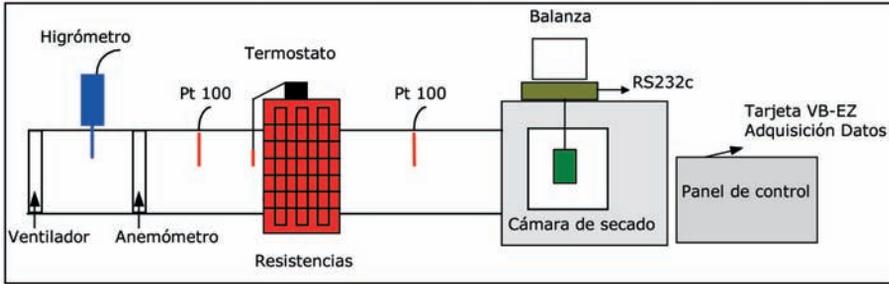


Figura 1 - Esquema del equipo de inyección de aire caliente

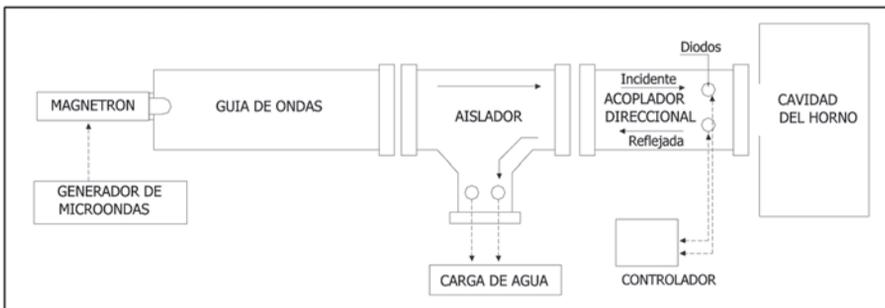


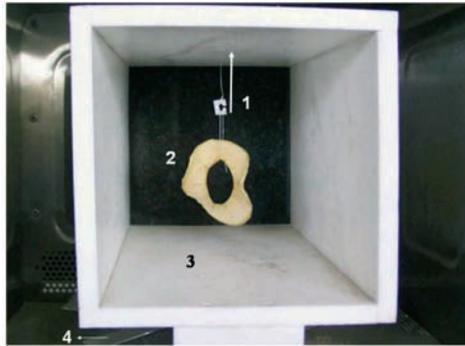
Figura 2 - Esquema de la línea de aplicación de microondas.

En la figura 3 se muestra una fotografía del equipo en cuestión en la que aparecen indicados cada uno de sus componentes. Por último, en la figura 4 se muestra una fotografía de la cavidad del horno en la que se sitúan las muestras.



- 1 Balanza
- 2 Horno microondas modificado
- 3 Línea de aire caliente
- 4 Línea de microondas
- 5 Panel de control de la línea de aire caliente (humedad relativa, temperatura fuera y dentro del horno, velocidad)
- 6 Panel de control de la línea de microondas (potencias incidente de microondas)

Figura 3 - Equipo de secado aire caliente y/o microondas.



- 1 A la balanza
- 2 Muestra
- 3 Cavity horno (teflón)
- 4 Agitador de modos

Figura 4 - Fotografía de la cavidad del horno en la que se sitúan las muestras.

### 3. CURVAS DE SECADO DE MUESTRAS FRESCAS E IMPREGNADAS

La forma de las curvas de velocidad de secado en procesos en los que se combinan el aire caliente y las microondas (Figura 5) difiere mucho de aquellas en las que se emplea únicamente una corriente de aire caliente (Bilbao, 2002). Al igual que en ese caso, cuando se emplean microondas, se observa un primer período de calentamiento durante el que se produce un aumento en la velocidad de secado. Más tarde vuelve a producirse un incremento de la velocidad, normalmente más acusado que el primero. En la figura 5 se muestra la forma típica de una curva de secado obtenida para cilindros de manzana (*var. Granny Smith*). En esta figura se distinguen 4 etapas cuya interpretación se detalla a continuación. Durante la etapa 0 (de inducción) la muestra se calienta sin perder masa de forma significativa. Una vez alcanzada la etapa I el flujo de agua líquida sale hacia la superficie del cilindro y es eliminada por evaporación debido a la transferencia de calor por convección. Esta etapa tiene una duración diferente según se trate de muestras impregnadas o no impregnadas, debido probablemente a la mayor cantidad de fase líquida de las muestras impregnadas. A continuación viene la etapa II, también denominada de vaporización súbita, en la que la velocidad de secado depende de la potencia aplicada. Para potencias altas se asume que la temperatura de la muestra es mayor que la de ebullición y esto provoca una evaporación súbita del agua y se alcanza la máxima velocidad de secado (punto 3). Para potencias bajas la velocidad de secado aumenta con la temperatura. La etapa III se caracteriza por un descenso lineal de la velocidad de secado con la humedad del producto. Después de alcanzar el último punto crítico (punto 4) el proceso de secado disminuye lentamente correspondiendo con el último periodo (IV). La última etapa sigue una trayectoria típica de procesos donde la transferencia de masa se explica por mecanismos difusivos (Bilbao, 2002).

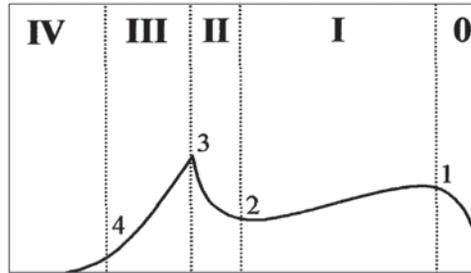


Figura 5 - Curva de velocidad de secado para cilindros de manzana (var. *Granny Smith*) secados mediante un método combinado de aire caliente y microondas. En la gráfica se han indicado las etapas y los puntos críticos en los que se divide el proceso de secado.

El eje "x" indica  $X_w/X_{w0}$  y el eje "y" indica  $dX_w/dt$ .

#### 4. PERFILES MICROESTRUCTURALES

En el Dpto. de Tecnología de Alimentos de la U.P.V se ha llevado a cabo un estudio de los cambios microestructurales ocasionados durante el secado por aire caliente (SAC) y combinado con diferentes potencias de microondas (SAC-MW). Se utilizaron cilindros de manzana de la variedad *Granny Smith* ( $h = 20$  mm;  $d = 20$  mm), se secaron con aire caliente a  $40^\circ\text{C}$  y  $2$  m/s, y con una Potencia de microondas incidente de  $0$ ,  $3$  o  $10$  W/g. Se realizaron micrografías en Cryo-SEM (Jeol mod. JSM-5410). Alguno de los resultados de este estudio se presentan a continuación (Bilbao *et al*, 2000).

En la figura 6 se puede apreciar que en los procesos de deshidratación por microondas los tiempos de secado quedan reducidos con respecto al secado convencional por aire caliente.

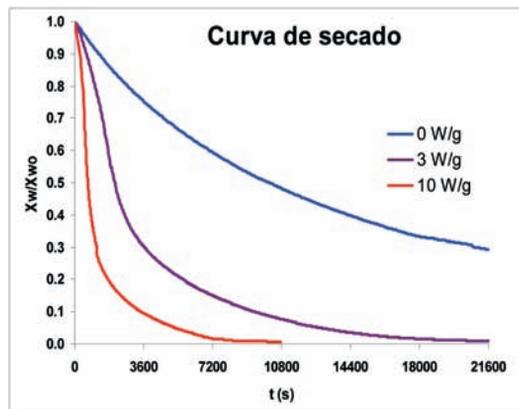


Figura 6 - Curva de secado para muestras secadas por aire a  $40^\circ\text{C}$  y por secado combinado aire caliente-microondas.

En la figura 7 queda patente que la velocidad de secado es mayor cuanto mayor es la potencia incidente de microondas, alcanzándose un máximo de velocidad de secado mayor a 10 W/g que a 3 W/g.

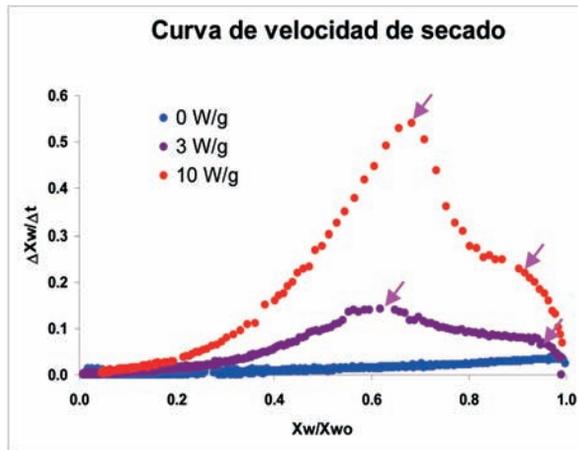


Figura 7 - Curva de velocidad de secado para muestras secadas por aire a 40 °C y con diferentes niveles de potencia incidente de microondas.

En cuanto a la microestructura de la muestra se observó que en el punto de máxima velocidad de secado el perfil microestructural presenta mayor ruptura del tejido celular en el interior del cilindro que en el exterior (Figura 8).

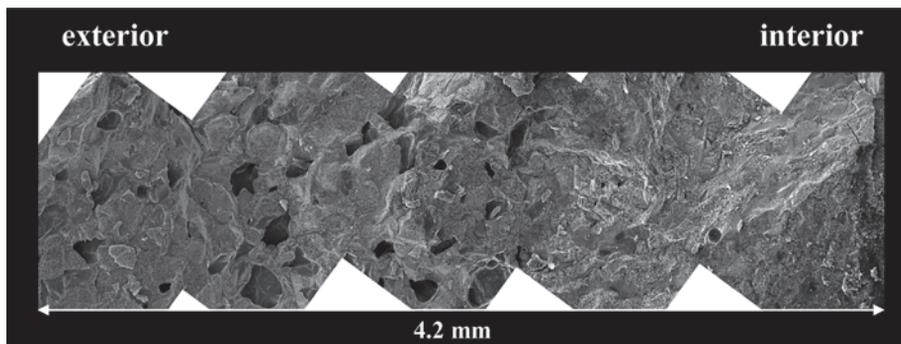


Figura 8 - Perfil longitudinal de tejido de manzana secado hasta el 75 % de humedad (b.h.) con aire a 40 °C y con 10 W/g de potencia incidente de microondas.

Al final del secado dependiendo de las variables de proceso se obtuvieron matrices macroscópicamente distintas. A 10 W/g se formó una cavidad en el centro rodeada de tejido (Figura 9).



Figura 9 - Fotografía de tejido de manzana secado hasta peso constante por aire a 40°C y diferentes niveles de potencia incidente de microondas (a. 0 W/g, b. 3 W/g, c. 10 W/g).

En la figura 10 se aprecia que en las muestras secadas a 10 W/g el tejido celular en el centro quedó deshidratado y compactado perdiendo los espacios intercelulares, sin embargo cerca de la superficie se formó una matriz porosa.

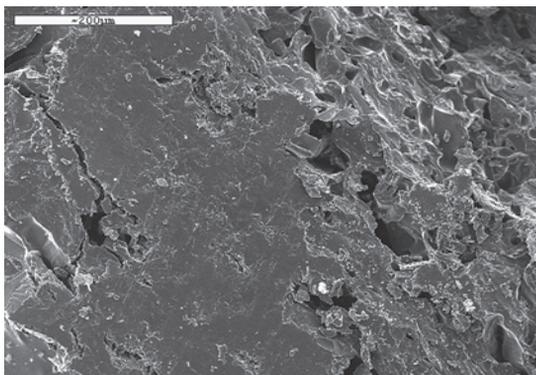


Figura 10 - Micrografía de tejido de manzana secado por aire a 40 °C y 10 W/g de potencia incidente hasta peso constante (X200).

Además también se observó que los espacios intercelulares en muestras secadas por aire caliente son mayores que los formados durante el secado combinado con microondas (Figura 11).

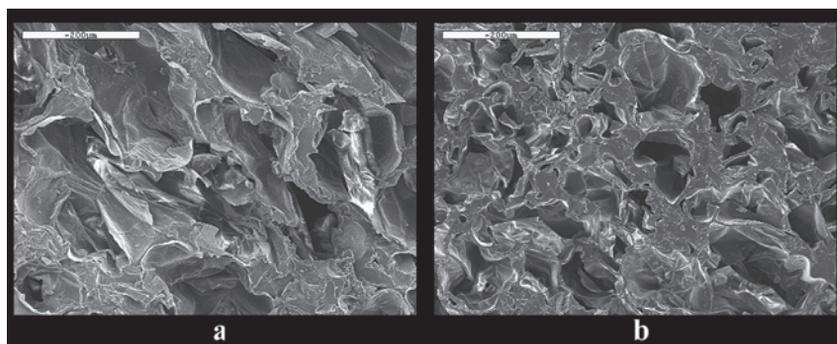


Figura 11 - Micrografía de tejido de manzana secado hasta peso constante por aire a 40°C (a) y de forma combinada aire 40 °C - microondas 3 W/g (b) (X200).

En todos los casos las micrografías reflejan el estrés estructural provocado por los distintos tratamientos. En el secado por aire caliente se produce un encogimiento de las células consecuencia de la salida de agua del protoplasto. Las células se encogieron con formas irregulares forzadas por los puntos de enlace entre ellas quedando grandes espacios intercelulares.

Cuando se aplican microondas la membrana celular puede destruirse como consecuencia de la temperatura y de los gradientes de presión provocados durante la vaporización.

En las muestras deshidratadas hasta un 10 % de humedad (b.h.) con aplicación de potencias de 10 W/g, se ocasionaron importantes cambios, tanto a nivel micro como macroestructural, ambos debidos al efecto térmico de las MW. Se pueden apreciar los siguientes fenómenos:

La disipación de energía térmica fue mayor en la zona central de las muestras debido sin duda al tamaño y forma de las mismas que facilita los fenómenos de reflexión de las ondas con formación de nodos en la parte central.

Como consecuencia de este fenómeno, se ha producido una intensa desecación en esta zona, con fusión de los elementos de la matriz y la generación de un gran hueco central.

El perfil estructural analizado incluye pues tanto una zona externa vecina a la interfase como una zona interna que constituye en realidad la pared interior limitante con el hueco central.

El aspecto estructural del tejido vecino a la superficie, donde el efecto térmico de las MW ha sido mucho menor, presenta grandes huecos consecuencia seguramente del aumento de los espacios intercelulares por pérdida de volumen del protoplasto. Sin embargo la salida tumultuosa del agua, producida en el hueco interior, en forma de vapor podría dar lugar a efectos similares por lo que en este momento es difícil deslindar la contribución de ambos mecanismos a las modificaciones estructurales.

El tejido se secó y quedó compactado en la zona menos superficial situada junto al hueco central, como consecuencia del efecto conjunto de la deshidratación a elevadas temperaturas (desorganización de membranas, transiciones de fase de los elementos insolubles) y de los gradientes de presión ocasionados por la generación de vapor en la zona central.

## **5. COMPORTAMIENTO EN REHIDRATACIÓN**

La rehidratación puede ser considerada como una medida de las lesiones causadas al tejido celular durante el secado y los tratamientos previos al secado (Lewicki, 1998). Por tanto, en uno de los experimentos llevados a cabo en el

Dpto. de Tecnología de Alimentos de la Universidad Politécnica de Valencia se rehidrataron muestras de manzana deshidratadas con corriente de aire y en combinación con microondas para evaluar los daños causados durante el secado y para analizar el efecto de la impregnación a vacío sobre las muestras rehidratadas (Bilbao, 2002).

Al estudiar la rehidratación de alimentos desde el punto de vista de la ingeniería de procesos interesa conocer la rapidez con la que se realiza el proceso de absorción de agua, la máxima capacidad de absorción y cómo se puede predecir el tiempo de inmersión bajo unas condiciones determinadas (Hsu, 1983). Para obtener este tipo de información, cilindros de manzana frescos e impregnados de 20 mm de altura y 20 mm de diámetro fueron deshidratados con corriente de aire a varias temperaturas (25, 30, 40 Y 50 °C) en combinación con energía de microondas a diferentes potencias incidentes (0, 3, 5, 7 Y 10 W/g). Las muestras deshidratadas (10 % de humedad en base húmeda) fueron rehidratadas con 50 ml de agua destilada a 50 °C durante 7 horas.

En la figura 12 se muestra el efecto de la potencia sobre la rehidratación de las muestras, se ha incluido también la curva correspondiente al producto secado únicamente con aire caliente, con la finalidad de poder comparar los dos tipos de secado. Tanto en muestras no impregnadas como en muestras impregnadas cuanto mayor fue la potencia durante la deshidratación más rápidamente se rehidrataron las muestras, alcanzando un máximo de rehidratación mayor seguramente debido a la mayor ruptura del tejido celular que permite una mayor filtración de líquido. Sin embargo, al principio del proceso la influencia

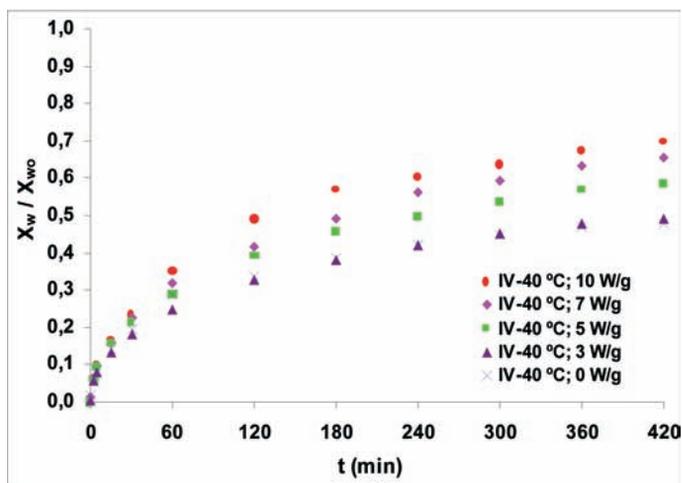


Figura 12 - Curvas de absorción de agua de muestras de manzana secadas utilizando diferentes niveles de potencia de microondas.

de la potencia de microondas no se observó en ningún tratamiento. La rápida velocidad de absorción inicial se debe a las fuerzas capilares, una vez la superficie queda saturada, las muestras siguen absorbiendo agua hasta alcanzar la máxima capacidad de absorción. En muestras impregnadas, la muestra deshidratada sólo con corriente de aire presentó una menor capacidad de absorción, sin embargo en muestras no impregnadas la capacidad de absorción de estas muestras fue comparable a la que mostraron las muestras deshidratadas con potencia más baja.

Como conclusiones más relevantes de este trabajo se puede decir que la cinética del proceso de rehidratación de cilindros de manzana deshidratados combinando el secado convectivo con la aplicación de energía de microondas no se ajustó a las leyes correspondientes a un proceso difusional fickiano, sin embargo los datos experimentales de absorción de agua pudieron ser ajustados adecuadamente con el empleo de la ecuación de Peleg para la relajación de estructuras viscoelásticas. De acuerdo a este modelo, cuanto mayor fue el nivel de potencia aplicada, mayor fue la máxima cantidad de agua absorbida por las muestras al igual que también fue mayor la velocidad de absorción de dicha agua. La impregnación con solución isotónica como pretratamiento antes del secado no causó ningún efecto sobre el comportamiento de las muestras durante la rehidratación distinto al observado en muestras no impregnadas.

El aspecto de las muestras deshidratadas y rehidratadas puede observarse en las fotografías que se muestran a continuación (Figuras 13 y 14).

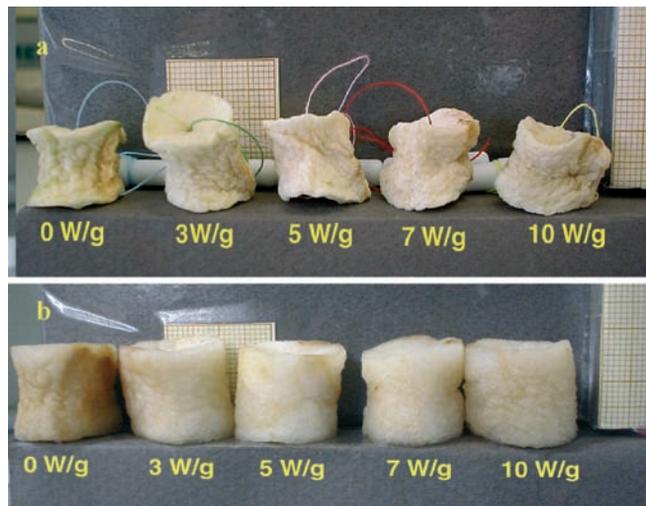


Figura 13 - Cilindros de manzana deshidratados (a) y rehidratado (b).

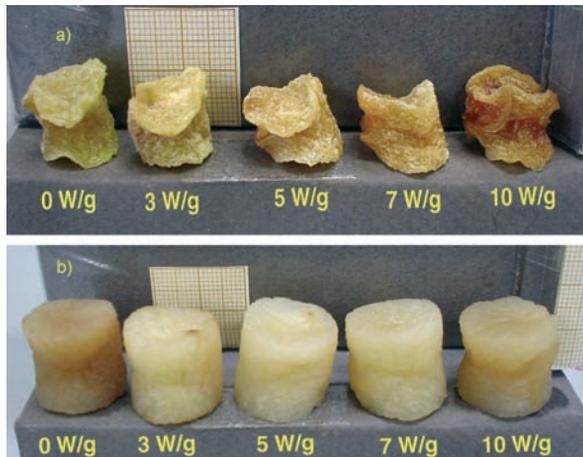


Figura 14 - Cilindros de manzana deshidratados (a) y rehidratados (b) con una disolución isotónica (zumo de manzana).

## 6. RODAJAS DE NARANJA DESHIDRATADAS MEDIANTE AIRE CALIENTE COMBINADO CON MICROONDAS

Las frutas cítricas y en concreto la naranja, son alimentos ricos en vitaminas, fibras, pigmentos y aceites esenciales, entre otros componentes. Son los frutos de mayor producción a escala mundial, y España está situada como el cuarto productor mas importante del mundo. La Comunidad Valenciana ocupa un lugar fundamental a escala nacional.

El mercado de la naranja está marcado por una superproducción y la oferta supera la demanda, por tanto son necesarias alternativas de procesado. La deshidratación se presenta como una buena alternativa y, su estudio fue el objetivo de diversos estudios realizados en el Dpto. de Tecnología de los Alimentos de la U.P.V.

Se analizó la influencia de la potencia de MW aplicada en las características de rodajas de naranja secadas con AC-MW en términos de conservación del color, relaciones aw-humedad, y relación humedad-propiedades mecánicas. En la figura 15 se observa una fotografía de la medida de las propiedades mecánicas de rodajas de naranja.

Las conclusiones obtenidas en este estudio fueron que el color y las relaciones humedad-aw no resultaron afectadas por el nivel de potencia aplicado en el intervalo considerado. No obstante, la aplicación de una mayor potencia supuso un incremento en la rigidez de las rodajas secas, que se hace notable para niveles bajos de aw (<0.324), lo que supone humedades inferiores al 10%, que fue la humedad de plastificación del producto. En la corteza, este

nivel crítico de humedad aumentó a 16 % para la mayor potencia aplicada. Los sobrecalentamientos del producto por la disipación de energía MW podrían promover la solubilización de material péctico que, al secar implicaría un endurecimiento del producto por un efecto cementante en el conjunto del tejido.

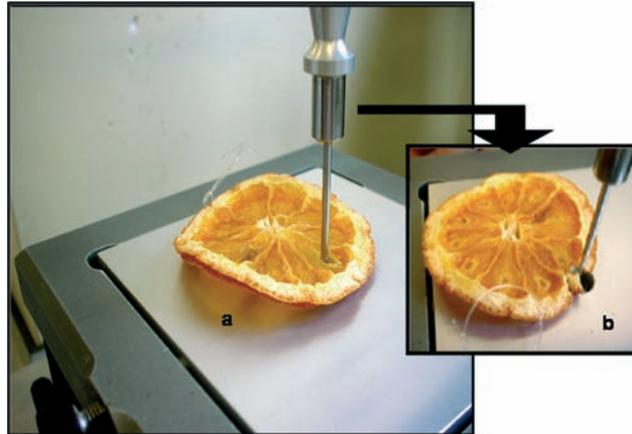


Figura 15 - Fotografía del ensayo de punción realizado para la medida de las propiedades mecánicas en pulpa (a) y piel (b) de rodajas de naranja.

## 7. APLICACIONES DE LAS MICROONDAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LOS ALIMENTOS

La medida de las propiedades dieléctricas puede proporcionar importante información durante los procesos industriales, ya que pueden existir correlaciones entre las propiedades del alimento y sus parámetros electromagnéticos. La permitividad compleja se correlaciona con las propiedades estructurales y físico-químicas del alimento, como pueden ser humedad, contenido en sólidos solubles, porosidad, características de la matriz sólida y densidad. Los cambios en esas propiedades están normalmente relacionados con los tratamientos a los que se somete el alimento durante su procesado; por ejemplo, las pérdidas de agua en los procesos de secado o las pérdidas de sales en los procesos de desalado (De los Reyes *et al* 2005c).

Cuando las microondas interactúan con un alimento cambian sus parámetros característicos (amplitud y fase) debido a las propiedades de éste, y ese cambio puede ser medido. Este es el principio básico en el que se basan los sensores de microondas para el control de calidad. Algunos de los estudios más recientes realizados en este campo se detallan a continuación.

### 7.1. Determinación del contenido en humedad

El agua es el componente mayoritario de muchos alimentos y, debido a su

naturaleza dipolar se ve fuertemente influenciado por la energía de microondas. Por ello, la mayoría de métodos que se utilizan actualmente para determinar el contenido en humedad de los alimentos están basados en propiedades eléctricas.

La determinación del contenido en humedad basado en la medida de parámetros electromagnéticos ha sido utilizada de manera habitual desde hace aproximadamente 50 años (Nelson, 1977, 1991, 1999). Se han realizado numerosos estudios en los que la constante dieléctrica y el factor de pérdidas han sido relacionados con el contenido en humedad de los alimentos (Bengtsson y Risman, 1971; Roebuck *et al*, 1972; Nelson, 1978; Nelson *et al*, 1991; Ndife *et al*, 1998).

Se han desarrollado algunos medidores comerciales basados en la medida automática y en línea de uno o varios parámetros de la onda reflejada y de la permitividad, obteniendo propiedades fisicoquímicas del alimento, como puede ser el contenido en humedad, la composición y la densidad, sin afectar al producto.

## 7.2. Aplicación de las propiedades dieléctricas en productos proteicos.

La determinación del agua añadida en pescado, productos derivados del pescado y carne, mediante el uso de espectros dieléctricos a la frecuencia de microondas, ha sido ampliamente estudiada por Kent *et al* (2000, 2001, 2002).

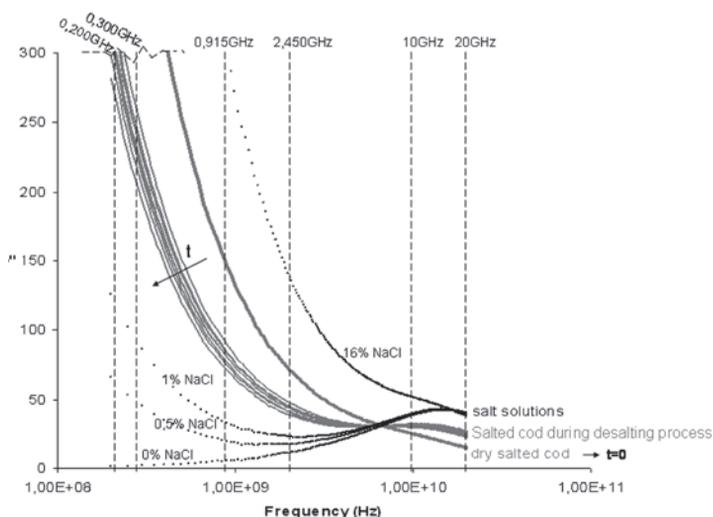


Figura 16 - Espectroscopía dieléctrica en muestras de bacalao con diferentes estados de desalado (líneas continuas grises) y en disoluciones de sal (líneas discontinuas negras). Las líneas verticales discontinuas marcan determinadas frecuencias. *t* indica el tiempo de desalado, el cual incrementa en la dirección de la flecha. La frecuencia viene dada en escala logarítmica.

En el Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo de la Universidad Politécnica de Valencia se estudió la viabilidad de utilizar un sistema de medida en línea basado en microondas de baja potencia para determinar el punto de desalado de bacalao salado (De los Reyes *et al*, 2005c). La espectroscopia dieléctrica fue empleada en muestras de bacalao con diferentes estados de desalado y en sus disoluciones de desalado, con la finalidad de encontrar una frecuencia de medida apropiada (o un rango de frecuencias apropiado) (Figura 16).

En este estudio se seleccionaron las frecuencias óptimas, y los datos de las propiedades dieléctricas se correlacionaron con otras propiedades físico-químicas (humedad y contenido en sal) de las muestras de bacalao medidas en los mismos estados de desalado. Se encontraron buenas correlaciones (aproximadamente  $R^2=0,99$ ) entre el contenido en sal de las muestras de bacalao y su factor de pérdidas a 200 y 300 MHz. Estos resultados indicaron la viabilidad de desarrollar un sistema de control en línea para el proceso de desalado del bacalao salado (Figura 17).

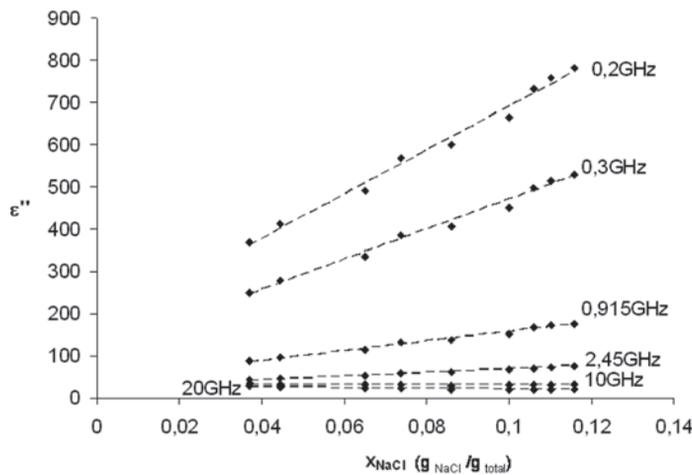


Figura 17 - Valores del factor de pérdidas en función del contenido en Cloruro sódico para cada frecuencia marcada en la figura 16.

### 7.3. Aplicaciones de las propiedades dieléctricas en frutas y vegetales

Las propiedades dieléctricas de varias frutas y vegetales han sido publicadas en numerosas ocasiones (Tran *et al*, 1984; Nelson, 1982; Seaman and Seals, 1991; Nelson *et al*, 1993, 1994; Kuang and Nelson, 1997; Sipahioglu and Barringer, 2003).

En el Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo de la Universidad Politécnica de Valencia se midieron las propiedades dieléctricas en muestras

manzana y se correlacionaron con variables del proceso para una posterior implementación de un sistema de control de calidad en línea (Romero *et al*, 2004).

Recientemente se han llevado a cabo otros estudios para correlacionar las propiedades dieléctricas con otras variables de interés en calabaza impregnada a vacío. La permitividad compleja fue medida con una sonda coaxial (HP85070E) conectada a un analizador de redes (HPE8362B) en muestras de calabaza fresca, en disoluciones de sucrosa y de Cloruro sódico, y en muestras de calabaza sometidas a un proceso de impregnación con las disoluciones anteriores (De los Reyes *et al*, 2005a). Los valores de  $\epsilon'$  y  $\epsilon''$  de las disoluciones de sucrosa y Cloruro sódico fueron correlacionados con la actividad del agua. Los autores encontraron que esas mismas correlaciones podían ser utilizadas para correlacionar la permitividad y la actividad del agua de las muestras de calabaza impregnadas a vacío. En este estudio también se determinaron las propiedades estructurales y fisicoquímicas de las muestras, y fueron correlacionadas cualitativamente con las propiedades dieléctricas.

De los Reyes *et al* (2005b) estudiaron la viabilidad de utilizar microondas de baja potencia para realizar medidas en línea no destructivas de las propiedades dieléctricas de frutas cítricas. Los autores trataron de relacionar las propiedades dieléctricas con variables del proceso. Las propiedades dieléctricas de frutas cítricas fueron medidas utilizando una sonda coaxial y un analizador de redes en un rango de frecuencia de 800MHz a 1GHz. Las variables del proceso que se midieron fueron: humedad, densidad, Brix, contenido de ceniza y actividad del agua. El análisis de los espectros reveló una buena correlación entre las frecuencias de medida con ciertas variables del proceso, especialmente con el agua libre.

## 8. CONCLUSIONES

Como se ha podido comprobar a lo largo de todo el capítulo, el uso de las microondas se ha diversificado mucho en los últimos años y posee un amplio campo de aplicación para la industria alimentaria. Actualmente se están llevando a cabo numerosas investigaciones en este campo; por este motivo cada vez existe un mejor conocimiento de las propiedades dieléctricas de los alimentos y es más fácil predecir su comportamiento frente al tratamiento por microondas.

Por último es importante destacar el interés de la aplicación de las microondas de baja potencia para controlar la calidad del producto a lo largo de su procesado. Esta técnica permite realizar medidas rápidas y no destructivas, e incluso incorporar los sensores de microondas en la misma línea de procesado, permitiendo un control continuo del proceso y la posibilidad de modificar los parámetros del mismo en tiempo real.

## REFERENCIAS

- Bengtsson, N.E.; Risman, P.O. 1971. Dielectric Properties of Foods at 3GHz as determined by a cavity perturbation technique II. Measurements on food materials. *Journal of Microwave Power*, 6(2):107-123.
- Bilbao, C.; Albors, A.; Gras, M.; Andres, A.; Fito, P. 2000. Shrinkage during apple tissue air-drying: macro and micro-structural changes. *En Proceedings of the 12th International Drying Symposium*, editorial: Elsevier.
- Bilbao, C. 2002. Estudio del secado combinado aire/microondas en manzana *Granny Smith*. *Tesis Doctoral*, Universidad Politécnica de Valencia (España).
- Decareau, R.V. 1985. *Microwaves in the food processing industry*. Academic Press, New York.
- De los Reyes, R.; Romero, J.; Betoret, N.; Andrés, A.; De los Reyes, E.; Fito, P. 2005a. Dielectric properties of fresh and vacuum impregnated squash (*C. moschata Duchesne*). The role of fruit microstructure, *in proceedings of EFCE*, Glasgow, Scotland, UK.
- De los Reyes, R.; Fito, P.J.; De los Reyes, E.; Fito, P. 2005b. Dielectric properties determination in citric fruits in relation with process variables, *in proceedings of EFFOST*, Valencia, Spain.
- De los Reyes, R.; Haas, C.; Andrés, A. 2005c. Changes in the Dielectric Properties of "Salted Cod - Water" System during the Desalting Process and their Relation with other Physical Properties, *in proceedings of EFFOST*, Valencia, Spain.
- George, R.M. 1992. A review of the applications of microwave energy in food processing. Technical Bulletin No. 89. CAMPDEN Food & Drink Research Association.
- Giese, J. 1992. Advances in microwave food processing. *Food Technology*, 118-123.
- Hsu, K.H. 1983. A diffusion model with a concentration dependent diffusion coefficient for describing water movement in legumes during soaking. *Journal of Food Science*. 48: 618-622, 643.
- Kent, M. 1987. *Electric and dielectric properties of food materials*. Science and technology Publishers, Londres.
- Kent, M.; MacKenzie, K.; Berger, U.K.; Knöchel, R.; Daschner, F. 2000. Determination of prior treatment of fish and fish products using microwave dielectric spectra. *European Food Research and Technology*. 210:427-433.
- Kent, M.; Knöchel, R.; Daschner, F.; Berger, U.K. 2001. Composition of foods including added water using microwave dielectric spectra. *Food Control*. 12:467-482.
- Kent, M.; Peymann, A.; Gabriel, C.; Knight, A. 2002. Determination of added water in pork products using microwave dielectric spectroscopy. *Food Control*. 13:143-149.
- Kuang, W.; Nelson, S.O. 1997. Dielectric relaxation characteristic of fresh fruits and vegetables from 3 to 20 GHz. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 32:114-122.
- Lewicki, P.P. 1998. Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: A review. *International Journal of Food Properties*, 1(1):1-22.

Martín, M.E. 2002. Utilización de microondas en el secado por aire caliente de manzana (*var. Granny Smith*). Influencia del pretratamiento por impregnación a vacío. *Tesis Doctoral*, Universidad Politécnica de Valencia (España).

Ndife, M.; Sumnu, G.; Bayindirli, L. 1998. Dielectric properties of six different species of starch at 2450 MHz. *Food Research International*. 31:43-52.

Nelson, S.O. 1977. Use of electrical properties for grain-moisture measurement. *Journal of Microwave Power*. 12(1):67-72.

Nelson, S.O. 1978. Radio frequency and microwave dielectric properties of shelled corn. *Journal of Microwave Power*. 13:213-218.

Nelson, S.O. 1982. Dielectric properties of some fresh fruits and vegetables at frequencies of 2.45 to 22 GHz. *ASAE Paper 82-3053*.

Nelson, S.O. 1991. Dielectric properties of agricultural products - Measurements and applications. Digest of Literature on Dielectrics, ed. A. de Reggie. *IEEE Trans. Electr. Insul.* 26(5): 845-869.

Nelson, S.O.; Prakash, A.; Lawrence, K. 1991. Moisture and temperature dependence of the permittivities of some hydrocolloids at 2.45 GHz. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 26:178-185.

Nelson, S.O. 1999. Dielectric properties measurement techniques and applications. *Transactions of the ASAE*. 42(2):523-529.

Nelson, S.O.; Forbus Jr.; W.R.; Lawrence, K.C. 1993. Microwave permittivities of fresh fruits and vegetables from 0.2 to 20 GHz. *Transactions of the ASAE*. 37(1):183-189.

Nelson, S.O.; Forbus Jr.; W.R.; Lawrence, K.C. 1994. Permittivity of fresh fruits and vegetables from 0.2 to 20 GHz. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 29:81-93.

Roebuck, B.D. ; Goldblith, S.A. ; Westphal, W.B. 1972. Dielectric properties of carbohydrate-water mixtures at microwave frequencies. *Journal of Food Science*, 37:199-204.

Romero, J.B.; De los Reyes, R.; Betoret, N.; Barrera, C.; De los Reyes, E.; Fito., P. 2004. Dielectric properties of vacuum-impregnated apple (Granny Smith). In *9th International Congress on Engineering and Food (ICEF 9)*, Montpellier, France.

Seaman, R.; Seals, J. 1991. Fruit pulp and skin dielectric properties for 150 MHz to 6400 MHz. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 26:72-81.

Sipahioglu, O.; Barringer, S.A. 2003. Dielectric properties of vegetables and fruits as a function of temperature, ash, and moisture content. *Journal of Food Science*. 68(1):234-239.

Tinga, W.R.; Nelson, S.O. 1973. Dielectric properties of materials for microwave processing. *Journal of Microwave Power*, 8 (1): 23-65.

Tran, V.N.; Stuchly, S.S.; Kraszewski, A. 1984. Dielectric properties of selected vegetables and fruits 0.1-10.0 GHz. *Journal of Microwave Power*. 19:251-258.

## Capítulo II:

### **APLICACIÓN DE LA COCCIÓN A VACÍO A LOS PRODUCTOS DE LA PESCA**

---

**Javier Martínez Monzó, Purificación García Segovia,  
Amparo Andrés Bello**

Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo  
Universidad Politécnica de Valencia  
Apdo. Correos 22012. 46071 Valencia. España  
Tlfno.: +34-963877056. Fax: +34-963877956  
e-mail: xmartine@tal.upv.es

#### **1. INTRODUCCIÓN**

Las demandas cambiantes de los consumidores, los avances en la tecnología y las presiones económicas han tenido como consecuencia cambios importantes en la industria del catering y la restauración colectiva en las últimas dos décadas. En la sociedad actual se observa un cambio en el tipo de alimentación; se tiende a consumir alimentos de fácil y rápida preparación, poco procesados, sin conservantes u otros aditivos artificiales, frescos, saludables, más seguros, de conservación prolongada y, por supuesto, de alta calidad sensorial. Estos hechos han originado una creciente demanda de platos preparados en los que prevalece la calidad por encima de la cantidad (se ha alcanzado la saciedad del consumidor). También se detecta una reducción en el tiempo dedicado a comer, un aumento de las comidas tipo tentempié, una reducción de las comidas fuertes, con una pérdida de protagonismo del almuerzo en favor de la cena, y la reserva de comidas familiares para momentos excepcionales de la semana. Se prefiere la llamada comida casera, si bien se reconoce que las comidas manufacturadas presentan estándares de higiene y selección que pueden llevar a alimentos más sanos. El consumidor está abierto a productos innovadores que estén en línea con una simplificación de la cocina y, en ciertos segmentos de mercado, también está

abierto a la experimentación. Uno de los valores de las marcas en alza es precisamente la innovación.

Vamos hacia un ritmo de vida aún más rápido que el actual, con una clara repercusión sobre la alimentación, ya que se come en función del ritmo de vida que se lleva. Se dedicará menos tiempo a preparar y a comprar las comidas, lo que facilitara tanto la compra de productos precocinados como el encargo de comida elaborada fuera del hogar (MAPA, 2004).

Es por ello que el segmento de las comidas preparadas refrigeradas ha sido uno de los que mayor crecimiento ha tenido y que necesita una constante innovación para hacer frente a las exigencias de los consumidores. Muestra de ello es que el sector ha mostrado un incremento del 50% en los últimos cinco años, en el año 2004 supuso alrededor de 15,1 billones de euros.

Normalmente estos productos suelen tener pocos aditivos y no han sufrido grandes procesos de transformación. Debido a esto su vida útil es relativamente corta (aproximadamente de hasta unos 3 meses).

Por otra parte, el aumento en el consumo de alimentos preparados ha hecho evolucionar las investigaciones hacia nuevos métodos de tratamiento y conservación que permitan conservar este tipo de alimentos con todas sus propiedades originales.

Este tipo de tratamientos se caracterizan por ser menos agresivos (tratamientos no térmicos, métodos combinados), con menor consumo energético, con tendencia a reducir el uso de aditivos, más efectivos contra los microorganismos, que preserven las cualidades sensoriales y nutritivas del alimento.

Entre este tipo de tratamientos en la industria alimentaria y en la restauración colectiva viene siendo utilizada cada vez más la llamada cocción a vacío.

## 2. EL SOUS-VIDE Y EL COOK AND CHILL

Dentro de las técnicas utilizadas en la elaboración de comidas preparadas refrigeradas se encuentran el cook and chill y el sous-vide. Estos sistemas se utilizan para la producción a gran escala y se basan en el uso del envasado a vacío antes o después del cocinado (pasteurización) en combinación con las técnicas de enfriamiento rápido o abatimiento (chill).

El cook-chill se define como un sistema de catering o de restauración basado en el cocinado de los alimentos seguido de un enfriamiento rápido, almacenamiento en condiciones de bajas temperaturas por encima del punto de congelación y recalentamiento previo a su consumo (Church and Parsons, 1993; Creed, 1995). Esta técnica se desarrolló en Suecia para el sector del catering institucional en la década de los setenta. Para la obtención de este tipo de

productos es necesario un control riguroso de las condiciones tiempo-temperatura de las diversas operaciones del proceso para asegurar la máxima calidad de los mismos. Además todas las materias primas utilizadas deben ser de alta calidad. El tratamiento de cocción inicial debe asegurar la destrucción de los microorganismos patógenos presentes. El enfriamiento rápido después del cocinado debe permitir controlar el crecimiento de los microorganismos. La contaminación cruzada debe ser evitada en todas las etapas del proceso y especialmente entre el producto fresco y cocinado. Las condiciones de almacenamiento y distribución deben asegurar su calidad y seguridad. Los procedimientos de recalentamiento y servicio también deben asegurar la seguridad alimentaria y son cruciales para la palatabilidad de los platos, por ello deben ser vigilados escrupulosamente y los planes APPCC aplicados con todo rigor.

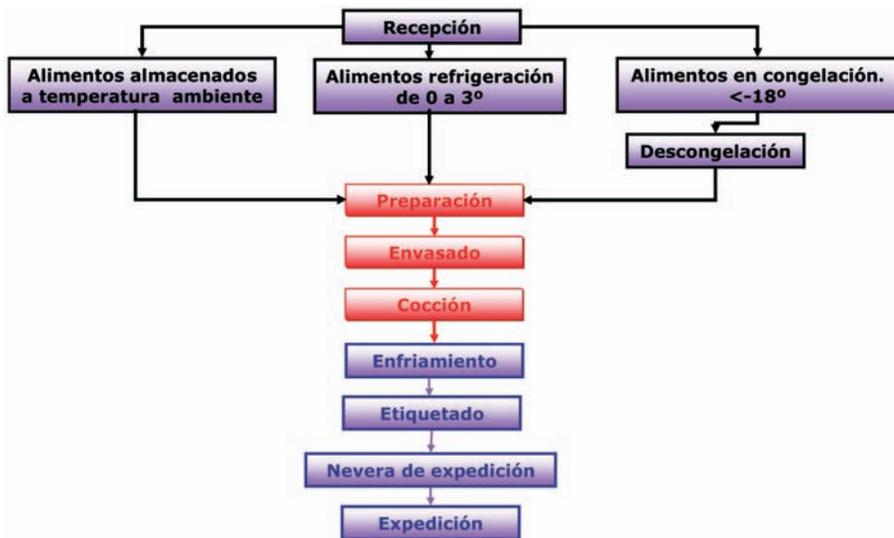


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso cook-chill.

Una modificación de este proceso es la que se conoce como sous-vide. El sous-vide o cooked-in-the-bag fue introducida en 1974 por un chef francés, George Pralus y se define como productos frescos o productos frescos junto con semielaborados que son cocinados en condiciones de temperatura y tiempo controlados dentro de envases termorresistentes a vacío. En esta técnica se utilizan bajas temperaturas (usualmente menores de 100°C) y tiempos más largos de cocción que en los procesos tradicionales. Las temperaturas más bajas se utilizan para la cocción de carne y pescado (por ejemplo por debajo de 70°C) y mayores para los vegetales (por ejemplo 95°C). La cantidad de aire residual en el envase depende del tipo de producto envasado. Los materiales del envase deben ser resistentes a las altas temperaturas y deben tener baja permeabilidad a los gases (oxígeno, vapor), resistencia mecánica y una migración limitada de

los componentes del plástico (grado alimentario). Después del calentamiento los productos se enfrían a temperaturas entre 1 y 8 °C. La vida útil de los productos sous-vide depende del tratamiento térmico que hayan seguido durante su cocinado y de la temperatura de almacenamiento. El tratamiento térmico debe destruir las formas vegetativas de los microorganismos pero las esporas pueden resistir este tipo de tratamientos. En general para este tipo de productos la vida media varía entre 6 y 42 días. Las principales ventajas de este tratamiento con respecto al método tradicional son las económicas (mejor aprovechamiento del trabajo y de los equipos a través de una producción centralizada) y las relacionadas con la calidad de los productos (reducción del uso de potenciadores del sabor, mejor conservación de las vitaminas, retención de la mayoría de los jugos del alimento). Sin embargo, las condiciones anaeróbicas en el interior de los envases pueden favorecer el desarrollo de *Clostridium botulinum* si existían esporas en el alimento.

En la actualidad estas dos tecnologías se vienen utilizando en una gran variedad de aplicaciones como el catering institucional, restauración, distribución en comercios, etc., debido a las características de calidad y frescura de los productos, ya que la frescura aparece como el parámetro más apreciado por los consumidores en los estudios realizados por los analistas del sector de la restauración (Sloan, 2001). Por otra parte, cuando se comparan el cook-chill y el sous-vide, se dice que los productos sous-vide ofrecen mejores características sensoriales (Creed, 1995). Estas afirmaciones se basan en dos principios, primero que el envase impide las pérdidas por evaporación de los aromas volátiles y la humedad durante la cocción y en segundo lugar que la baja presión parcial de oxígeno en el interior de la bolsa inhibe los cambios oxidativos responsables del desarrollo sabores extraños (Church y Parsons, 1993). Desde este punto de vista también han sido numerosos los trabajos sobre la calidad textural y organoléptica sobre los productos sous-vide y cook-chill en los que se trata de optimizar las condiciones del tratamiento tiempo temperatura (Hill, 1994; Xie, 2000; Church and Parsons, 2000; Kim et al., 2002; Obuz et al, 2004). Como se ha comentado, los productos desarrollados con estas tecnologías presentan como principal característica su frescura y calidad organoléptica pero en contraposición la mayoría de estos productos suelen tener una vida útil limitada, lo que ha orientado la investigación en este campo hacia la búsqueda de nuevos métodos de inactivación microbiana y a la mejora de los "métodos suaves" de conservación, con el fin de proporcionar alimentos que además de satisfacer la demanda del consumidor, puedan conservarse durante períodos de tiempo relativamente largos. Así pues, la mayoría de los trabajos existentes se centran en metodología para reducir el riesgo microbiológico de este tipo de platos.

La Comisión Europea se ha mostrado muy receptiva a los estudios realizados sobre estas técnicas como una vía para aumentar la competitividad en los mercados europeos, por ello ha dispuesto de un total de 290 millones de euros dentro del programa de Nutrición y Salud del VI programa marco. Ejemplos de este interés se muestran en iniciativas como el establecimiento de un centro de referencia sobre la tecnología sous-vide en la universidad belga de Lovaina

(ALMA University restaurants), que ha desarrollado el informe "Harmony" (Harmonization of safety criteria for minimally processed foods, FAIR 961020) junto con la Food Linked Agro-Industrial Research European Comisión ([www.harmony.alma.ac.be](http://www.harmony.alma.ac.be)) o proyectos como INICON (Introduction of innovative Technologies in modern gastronomy for the modernisation of cooking, IPS-2001-42016), con el que los miembros de este equipo ya han iniciado contactos para colaborar. También a nivel Europeo existen otros centros de investigación como el TEAGASC (The National Food Centre) en Irlanda o el CCFRA (Campden & Chorleywood Food Research Association) en el Reino Unido que vienen trabajando en la última década en aspectos relacionados con la optimización de los tratamientos térmicos y las técnicas para ampliar la vida útil de este tipo de productos (Tucker, 2004). En otras partes del mundo como Australia ha sido el NSW Health Department el que ha elaborado un código para aumentar la vida útil de los sistemas cook-chill (NSW Health Department, 1995).

Así pues podemos que ambas técnicas presentan unas interesantes perspectivas de aplicación a los productos de la pesca debido a las ventajas que aportan y que las podemos sintetizar de la siguiente manera:

La utilización del vacío en restauración aporta innumerables beneficios pero cabe destacar cinco aspectos principales como son la conservación, la frescura, los aromas, la preservación de las cualidades y la higiene.

**Conservación.** El sistema de vacío ayuda a la conservación y a la no oxidación de los alimentos, tanto crudos como cocidos, logrando una óptima calidad.

**Frescura.** Alarga la vida de los alimentos y mantiene todo su sabor y color.

**Aromas.** Tanto en la cocción como en la conservación los alimentos mantienen sus aromas característicos con una concentración excepcional; se evita la pérdida de aroma por el contacto con el oxígeno del aire y la mezcla de olores con otros productos contiguos.

**Preservación de las cualidades.** Se obtiene una gran mejora en muchos productos, ya que conservándolos al vacío podemos alargar su vida sin necesidad de la congelación. De este modo obtendremos la frescura natural deseada.

**Higiene.** Con la protección de la bolsa, los alimentos se preservan del contacto con el aire y otros productos. Se impide la proliferación de bacterias aeróbicas y se estabilizan los demás microbios por el efecto que produce el frío.

Además, aporta ciertas ventajas comerciales: se incrementa la vida comercial (de días hasta meses), se reducen las mermas por cocción (en productos pesqueros hasta un 10%), y permite la elaboración de una mayor variedad de menús simultáneamente (al estar envasados pueden calentarse en el mismo horno diferentes tipos de productos sin que se mezclen olores ni sabores). También permite disminuir los costes energéticos. Además, la cocción del alimento ya envasado impide la posible recontaminación microbiológica posterior.

El tiempo de conservación e frigorífico a +3 grados queda limitado, entre 6 y 21 días, en función del tipo de producto y de las condiciones de preparación.

Pero los efectos a nivel de gusto difieren, por lo que la cocina al vacío debe considerarse no tan sólo como una facilidad, sino también como una nueva técnica culinaria independiente.

### 3. COCCIÓN AL VACÍO DE PRODUCTOS PESQUEROS

La aplicación de las técnicas de cocción a vacío a los productos de la pesca es uno de los campos que se prevé que se vaya a desarrollar más en los próximos años (fundación OPTI, 2005). La necesidad de aumentar la vida útil de los productos transformados de la pesca será un factor clave en el desarrollo futuro del sector. En este sentido el aumento de platos preparados a partir de pescado incrementará sustancialmente la utilización de la cocción al vacío como método de procesado y conservación.

Por otra parte la cocción a vacío de los productos de la pesca mejora el aspecto visual y evita la aparición de exudado posterior en el producto final. El procesado independiente y ensamblado posterior de salsa y pescado antes de la pasteurización mejora significativamente el sabor e impresión global.

#### 3.1. Equipamiento

Una de las cosas que podemos destacar de estas tecnologías es su relativa facilidad de inclusión en las líneas de producción existentes debido a relativo bajo costo que supone la inversión en equipamiento. A continuación se describen algunas de las características de los equipos más habituales en estos sistemas de producción.

##### 3.1.1. Envasadora de vacío



Figura 2 - Envasadoras a vacío.

Este tipo de envasado retarda de manera considerable la oxidación (cambio de color, sabor y aroma) y putrefacción de los alimentos ya que al eliminar el aire

alrededor del producto evita la reproducción de bacterias aeróbicas y hongos. Se trabaja por succión interna, a través de una cámara de vacío, y cierra la bolsa por termosellado. Es ideal para fiambres, pescados, mariscos, embutidos, quesos, carnes, etc. El proceso implica colocar el producto en una bolsa especial con baja permeabilidad al oxígeno. Muchas de estas envasadoras permiten sistemas de envasado en atmósfera modificada (ATM).

### 3.1.2. Horno de vapor húmedo/autoclave

La cocina al vapor es uno de los sistemas de cocción más saludables que existen al permitir conservar las propiedades de los alimentos sin pérdida de sus vitaminas y sales minerales. Su principio de funcionamiento se basa en las mismas técnicas ancestrales que utilizaban en los países orientales: cocinar los alimentos con el vapor de agua evitando el contacto con el agua líquida. Ahora, esta avanzada tecnología de cocción permite regular estos procesos de una forma más eficiente y precisa manteniendo todas las sustancias nutritivas de los alimentos. La cocción al vapor potencia los sabores, olores y la apariencia visual de los alimentos de forma mucho más efectiva que los métodos tradicionales, permitiendo también eliminar el riesgo de cocción excesiva que puede generar sustancias poco saludables en algunos alimentos. Por otro lado, el vapor de agua a baja temperatura (100 °C) permite respetar la estructura celular de los alimentos, conservando, mucho mejor que otras formas de cocción, las vitaminas hidrosolubles y las sales minerales. Por ejemplo, la proporción de vitamina C en un plato de brócoli que permanece tras ser cocinada al vapor es de un 84% frente a tan sólo el 40% si esta verdura es hervida.



Figura 3 - Cocedor/pasteurizador y hornos de vapor.

### 3.1.3. Abatidores de temperatura

Los abatidores de temperatura permiten reducir en un tiempo muy breve la temperatura al centro de los alimentos, sean cocidos o crudos, conservando sus características físicas y organolépticas y disminuyendo drásticamente los riesgos de proliferación bacteriana.

Dejar enfriar un alimento al aire libre favorece el desarrollo de los microorganismos como Termófilos, Mesófilos y Psicrófilos. Se considera que los microorganismos multiplican su actividad cuando la temperatura está comprendida entre +70°C y +10°C, intervalo considerado como peligroso. Para impedir la proliferación y parar la actividad bacteriana, se necesita enfriar lo más rápidamente posible. La función de los abatidores consiste en limitar al máximo la permanencia de los alimentos en el intervalo crítico de temperaturas.



Figura 4 - Abatidores de temperatura.

#### 3.1.4. Bolsas o barquetas

Deben ser resistentes al tratamiento térmico e impermeables al oxígeno. Hoy en día existen muchos fabricantes que proporcionan materiales para embalaje, tanto bobinas de film, como bolsas y barquetas adaptados a las formas y condiciones de proceso de los diferentes productos.

#### 3.1.5. Cámara de conservación en refrigeración (0-3°C)

Se utilizan para el almacenamiento del producto envasado. No olvidemos que un aspecto fundamental de este tipo de procesado es el mantenimiento de la cadena de frío.

### 4. PELIGROS DE LOS PRODUCTOS SOUS-VIDE

Los principales peligros relacionados con estos sistemas de producción son de tipo microbiológico ya que el envasado a vacío proporciona un medio anaerobio (inhibe el crecimiento de microorganismos esporulados aerobios), pero pueden desarrollarse algunos patógenos aerobios como *Clostridium botulinum* o *Clostridium perfringens*. Por ejemplo, para obtener una reducción considerable de la presencia del patógeno *Clostridium botulinum*, se recomiendan tratamientos térmicos equivalentes a 90°C durante 10 min en el centro de los productos. Tratamientos de esta intensidad pueden resultar agresivos para algunos productos, afectando negativamente a sus propiedades sensoriales. Temperaturas

de entre 65-75 °C, son suficientes para acabar con los patógenos psicrótrofos no esporulados, como *Listeria monocytogenes*, pero no inactivan todas las bacterias patógenas y alterantes, con lo que se requiere un estricto control de las temperaturas de refrigeración posteriores al tratamiento.

Debido a la posible presencia de microorganismos patógenos termorresistentes (principalmente *C. botulinum*) y a las eventuales roturas de la cadena de frío en la distribución y venta, resulta crucial una higiene extrema en la producción, un estricto control de la cadena de frío, y la combinación de esta tecnología con otros métodos de conservación (bioconservación, adición de conservantes, etc). Recordemos, pues, que se trata de productos formulados con pocos o ningún aditivo conservador y como se ha comentado si no se controlan bien las condiciones del proceso es posible el desarrollo de algunos microorganismos psicrófilos *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophyla*, *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia coli* y diferentes especies de los géneros *Campilobacter* y *Enterococcus*.

## 5. COCCIÓN EN VACÍO CONTINUO COMO UNA APLICACIÓN ALTERNATIVA DEL USO DEL VACÍO EN LA ELABORACIÓN DE PLATOS PREPARADOS

La cocción en vacío continuo o cook-*vide* consiste en cocinar el producto en condiciones de presión subatmosférica (vacío) y después envasar y refrigerar el alimento. Este sistema presenta algunas características que pueden resultar de interés desde el punto de vista nutricional, sensorial y de seguridad del alimento. En primer lugar, al trabajar a menor presión (al igual que el *sous-vide*) se consigue reducir el punto de ebullición del líquido de cocción y del agua de constitución del producto, lo que permite deshidrataciones a menor temperatura y cocciones a baja temperatura con los beneficios que ello representa para las características texturales y nutricionales del producto, pero quizás el fenómeno más interesante que se puede analizar es el de la impregnación del producto con el medio de cocción, en el caso que resulte interés. Durante el proceso de cocinado a vacío, se produce una expansión y liberación del gas retenido en la estructura porosa del alimento, posteriormente tras la ruptura de vacío, se produce una impregnación del alimento con el medio de cocción debido al efecto de compresión del gas residual. Este fenómeno puede presentar algunas ventajas con respecto a los ya comentados *cook-chill* y *sous-vide*. En lo referente a los factores de calidad nutricional, al igual que el *sous-vide*, se trabaja con bajas temperaturas por lo que el efecto de las mismas sobre la menor alteración de las vitaminas se mantiene, pero presenta como novedad que al estar el producto en contacto con la solución de cocción (cosa que no ocurre con el *sous-vide*) el producto puede enriquecerse (al ser impregnado) con los constituyentes del líquido de cocción (vitaminas, minerales, componentes funcionales, etc.) que pueden contribuir, mediante la formulación de los líquidos de cocción, a incrementar o reconstituir el valor nutricional de los productos. También desde el punto de vista sensorial el producto puede verse modificado para

potenciar o adquirir nuevos sabores (manzanas con sabor a menta, champiñones con sabor a carne, etc.) y si se desea se pueden introducir algunos elementos que contribuyan a reforzar algunos aspectos como la textura de los vegetales (reforzamiento de las paredes celulares por la adición de calcio, impregnación con agentes gelificantes, etc.). Este procedimiento también contribuye a reducir las oxidaciones al trabajar en condiciones de baja presión de oxígeno o al poder introducir agentes antioxidantes en el producto (tocoferoles, vitamina C). Otra de las aplicaciones que puede tener es su uso para la introducción de cultivos protectores (protective cultures, PC), bacteriocinas u otros agentes conservantes para aumentar la vida útil de este tipo de productos ya que como se vio anteriormente este aspecto resulta ser la mayor debilidad de estas tecnologías (Rodgers, 2004). Como se ha comentado este tipo de fenómeno no se produce ni en el sous-vide (al estar el producto embolsado) ni en el cook-chill (ya que solo se produce una impregnación superficial por efecto capilar).

## 6. INVESTIGACIONES NECESARIAS

Al tratarse de una tecnología relativamente nueva faltan muchos estudios para tratar de ajustar para cada producto las condiciones temperatura/tiempo necesario para conseguir productos seguros pero con un nivel organoléptico óptimo. También se precisan estudios sobre la influencia de las características del producto en el desarrollo de microorganismos (contenido en grasa, proteínas, pH, etc.). Como se comentó anteriormente la tendencia al procesado mínimo hace que las técnicas de métodos combinados adquieran especial relevancia en este tipo de productos, es por ello que los estudios que analicen el efecto de la introducción de otras barreras como la regulación de la actividad de agua ( $a_w < 0,93$ ), adición de ácidos orgánicos (lactato de sodio 2,4%), cultivos protectores o irradiación (2-3 kGy) son necesarios para el desarrollo de estos productos.

## 7. ¿QUÉ ESCENARIO NOS ESPERA?

En el informe del 2005 sobre el futuro del sector de los productos transformados de la pesca realizado por el instituto AZTI (Instituto de Investigación Agroalimentario Vasco del País Vasco) se analiza el escenario para los próximos años y se observa que las tecnología que han sido comentadas en el presente capítulo pueden jugar un importante papel para el desarrollo y mantenimiento del sector. En este informe las conclusiones a las que se llega son las siguientes:

- Los productos pesqueros son cada vez más valorados para el consumo humano, donde la ingesta de proteína de pescado representa el 15% del total de la ingesta de proteína animal, habiendo crecido este consumo a un ritmo de 3,6% durante los últimos 40 años. Y, cuanto menos, va seguir la misma tendencia.

- Seguirá creciendo la demanda de productos frescos, y éstos deberán estar semi o preparados (fileteados, limpios, precocinados...) para hacerlos más "amigables" para su consumo. En el sector de los reestructurados se espera una diversificación en la gama de productos, nuevas presentaciones y un incremento de la calidad de los ya existentes buscando aumentar su cuota de participación en el mercado.
- La implantación de nuevas tecnologías de conservación permitirá a las empresas poseer una mayor gama y versatilidad para poder desarrollar nuevos productos pesqueros que aúnen calidad y seguridad. Esta demanda creciente va a ser cubierta por el desarrollo imparable de la acuicultura, donde se espera que se triplique la producción en los próximos años, con el desarrollo de las explotaciones en el mar (jaulas sumergibles o sumergidas) y cultivo y/o engorde de especies marinas de las familia de Gádidos (merluza, bacalao, abadejo, Alaska pollack), Pleuronéctidos (rodaballo, lenguado, halibut) y otros como Espáridos (el besugo y el dentón).
- El transporte aéreo y las lonjas electrónicas jugarán un papel primordial en el comercio mundial de los productos pesqueros frescos, poniendo a elección del consumidor especies procedentes de cualquier lugar del planeta.

Así pues en los próximos años se plantean una serie de retos a los que las empresas y centros de investigación tendrán que dar respuesta conjuntamente si no queremos dejar pasar esta oportunidad.

## REFERENCIAS

Creed, P.G. (1995). The sensory and nutritional quality of sous vide foods. *Food Control*, 6 (1): 45-52.

Church, I.J., Parsons, A.L. (1993). Review: Sous vide Cook chill technology. *International Journal of Food Science and Technology*, 28, 563-574.

Church, I.J.; Parsons, A.L.(2000).The sensory quality of chicken and potato products prepared using cook-chill and sous vide methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 35: 155-162.

Hill, M.A.(1994). Vitamin retention in microwaves cooking and cook-chill foods. *Food Chemistry*, 49: 131-136.

Kim, G-T.; Koo, K-M.; Paik, H-D.; Lyu, E.S.; Lee, D.S. (2002). Sous vide processing of seasoned spinach soup. *Food Service Technology*, 2: 131-138.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (M.A.P.A.), 2004. La Alimentación en España. Madrid, España.

NSW Health Department (1995). Nutricional Standards of Food Service. Sydney: South Western Sydney Area Health Service..

Obuz, E.; Dikerman, M.E.; Grobbel, J.P.; Stephens, J.W.; Loughin, T.M. (2004)Beef longididimus lumborum, biceps femoris, and deep pectoralis Warner-Bratzler shear force is affected differently by endpoint temperature, cooking method, and USDA quality grade. *Meat Science*, 68; 243-248.

Sloan, A.E. (2001). Top ten trends to watch and work on. *Food Technology*, 55(4); 38-58.

Tucker, G. (2004). Using the process to add value to heat-treated products. *Journal of Food Science*. 69 (3): 102-104.

Xie, G. (2000). Comparison of textural changes of dry peas in sous vide cook-chill and traditional cook-chill systems. *Journal of Food Engineering*, 43: 141-146.

### Capítulo III:

## **PLATOS COCINADOS VALOR AÑADIDO AL PESCADO**

---

### **Fernando Abadía**

ILPRA SYSTEMS S.L.  
Batista y Roca 31-25. Pol. Ind. Pla dén Bost.  
08302 Mataró. Barcelona. España.  
Tlfno.: +34-937573462. Fax: +34-937573900  
e-mail: fabadia@ilpra.es

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ¿Qué características necesita un plato cocinado para tener éxito?:**

- 1 - Fácil de calentar
- 2 - Buena relación calidad - precio
- 3 - Que esté bueno y gustoso (fidelizamos al cliente futuro)

### **1.2. ¿Qué protocolo de funcionamiento se utiliza para elaborar platos cocinados base pescado (en una Industria)?:**

- 1 - Seleccionar el pescado o familia de pescados que deseamos procesar.
- 2 - Determinar la temperatura de conservación y el tiempo.

<i>Congelación</i>	-18°	6 a 12 meses
<i>Pasterización</i>	+2° +4°	30 a 42 días
<i>Esterilización</i>	+20°	6 a 12 meses
- 3 - Ficha técnica de elaboración, REINGENIERING con el toque del cheff.
- 4 - El envase, el packaging y las formas de regeneración.

### Plato Cocinado Congelado

Congelación -18° 6 a 12 meses

- Utilizaremos un envase plástico rígido, barrera a los gases, al vapor de agua y apto para ser calentado en microondas: no hay **cristalización** ni **quemado** en superficie, disminuye la **oxidación** y **enranciamiento de grasas** (no hay oxígeno en el envase), no hay pérdida de gusto o posible absorción del sabor de otros productos almacenados en la proximidad (por la estanqueidad del envase).

Envase de polipropileno con aditivo	apto para	-30°	+120°
De celulosa con poliéster	apto para	-40°	+190°
De CPET	apto para	-40°	+220°

### Plato Cocinado Pasterizado

Pasterización +2° +4° 30 a 42 días

- Envase de polipropileno o CPET apto para el calentamiento en microondas.
- Necesita un proceso de pasterización (una vez envasado, recibir una temperatura de más de 65° y menos de 100°).
- Valor pasterizatríz indicado en las tablas del Instituto Pasteur (PO).
- No cambia sabor, utilizamos la misma temperatura de la cocción tradicional, pero protegida de la contaminación ambiental por el envase.

### Plato Cocinado Esterilización

Esterilización +20° 6 a 12 meses

- Envase de pp/evoh/pp, según el % de evoh alcanzamos tiempos de conservación de 6 a 12 meses, a +20°.
- El proceso está determinado por las tablas de valor esterilizatríz (FO).
- El envase plástico admite su calentamiento en microondas.
- Al tener que recibir el alimento, en el proceso, una temperatura superior a los 100°, con las actuales tecnologías más implantadas, esto solo es posible utilizando un autoclave.
- Necesitamos utilizar un tipo de autoclave sofisticado con un control programable de las presiones de 12 gr. Una garantía de uniformidad de calor en cualquier punto del mismo y un sistema informático de registro que nos permita variar las programaciones evitando las deformaciones de los envases y con el exacto control del valor esterilizatríz alcanzado.

## 1.3. ¿Qué es una ficha técnica reingeniering de nuevos alimentos?

No es la receta habitual de cocina informatizada, es "alcanzar el resultado de la receta tradicional a través de maquinaria que haga el trabajo repetitivo o variando la forma tradicional de elaboración con objetivo de:

- 1 - Mantenimiento de la calidad de plato fresco recién elaborado
- 2 - Productividad en la elaboración
- 3 - Reducción de costos

## **2. EJEMPLO DE MAQUINARIA QUE NOS PERMITE ELABORAR GRAN CALIDAD CON PRODUCTIVIDAD Y COSTE REDUCIDO**

### **2.1. Marmita basculante doble pared circulación de vapor, con abatimiento y removedor (Figura 1)**



*Figura 1 - Marmita basculante.*

Entrada de agua con contador por litros programado para utilizar con exactitud la cantidad de líquidos indicados en la ficha técnica.

Al finalizar el guiso, por el espacio de paso del vapor podemos hacer circular agua fría para iniciar un abatimiento, rápido y económico.

El vaciado se realiza basculando la cuba o mediante bomba de trasvase. Podemos utilizar la marmita como cocedor de arroz blanco, pasta italiana, etc. Al finalizar la cocción, por la parte inferior de la marmita, entra agua muy fría que sube desde el fondo hasta el borde, enfriando así la pasta. El agua desborda por lo que es imprescindible que un sistema de desagües bordeé la marmita.

El removedor se puede programar a velocidad y tiempo de rotación por minuto.

El calentamiento de los líquidos es muy rápido por el sistema baño maría de vapor.

### **2.2. Sartén basculante multifunción, temperatura controlada en base y laterales, toma de agua con cuenta litros (Figura 2)**

Sartén similar a las utilizadas en hostelería, de más capacidad y con más perfeccionamiento técnico. Este equipo reúne las características de varios equipos en uno:



*Figura 2 - Sartén basculante.*

- Salteadora: para platos salteados y en salsa
- Mamita de fuego directo: para la cocción con líquidos (legumbres, pastas, arroz)
- Marmita de baño maría: alimentos delicados, salsas, postres, cremas, etc.
- Braseadora y plancha: para braseados, grillados, marcar o colorear rápidamente y fritura en superficie o total.

Es una sartén sofisticada, con calor en la parte inferior y en los laterales, con control termostático de temperatura e intensidad, con contador de litros de agua con selector digital.

La cuba (Figura 3) se puede llenar de aceite y una barra con movimiento eléctrico nos introduce y extrae 4 cestas de inox perforadas para utilizar el equipo como freidora. Si colocamos agua en vez de aceite lo utilizamos como cocción al agua.



*Figura 3 - Cuba de la sartén basculante.*



Figura 4 - Marinado a baja presión de pescado.

### 2.3. Equipo de marinado a baja presión apta para pescados con y sin espinas (enteros o fileteados) (Figura 4)

Esta tecnología no se ha de confundir con las inyectoras de los procesos cárnicos ni con el sistema de glaseado, tratamos de restablecer la humedad que perdió el pescado en la manipulación para evitar sequedad en la cocción.

El equipo utiliza finas agujas de 2 Mm. e introduce de forma uniforme una salmuera de agua, sal, dextrosa y sabor. Cuando la aguja detecta una espina se detiene y deja de marinar ( hay maquinas con agujas retráctil que detiene el avance pero no la salida del marinado provocando un mal reparto de la misma).

Este marinado gastronómico nos permite evitar la sequedad de los pescados en las cocciones tradicionales.

Como resultado de este proceso tecnológico, los comensales pueden disfrutar de un plato cocinado de pescado apetecible, jugoso, gustoso. Muy rápido y fácil de calentar (sea congelado o refrigerado).

### 2.4. Chino automático, separador de espinas y pieles, recuperador de la carne cocida del pescado (Figura 5)

La carne así recuperada se puede utilizar para cremas, brandadas, mousses, timbales, taramas etc..

Para procesos más industriales, existen los separadores de espinas y pieles de pescados no cocinados.



Figura 5 - Chino automático.

## 2.5. Túneles grillatore de mercado (Figura 6)

Se trata de un equipo compacto de alta producción, los filetes de pescado, pulpitos, sepías o reconstituidos, pasan a través de dos rodillos estriados con una temperatura seleccionada provocando uniformemente las marcas y el sabor del grillado tradicional.



Figura 6 - Tunel grillatore de mercado.

## 2.6. Túneles de dorado (Figura 7)

Es un equipo de varias medidas donde podemos seleccionar la temperatura superior, la inferior y la velocidad de avance. El resultado es un asado y dorado sobre los pescados sean enteros troceados, fileteados etc.

Según la tecnología, la forma de conservación y la recomendación de regeneración, no es necesario finalizar la cocción solo cocinamos exteriormente y acabamos en el periodo de calentamiento final antes del servicio.

Uno de los resultados más espectaculares son las sardinas a la brasa, las gambas sabor plancha y los mejillones a la brasa.



*Figura 7 - Túneles de dorado.*

### **2.7. Dosificadores y bombas de trasvase de productos líquidos, pastosos y pastosos con tropezones (Figura 8)**

Son equipos para trasladar los alimentos a los dosificadores adaptados a las líneas de envasado. Son autónomos con ruedas con regulación de 20 gr. a 5 kg. Fácil limpieza y opción de funcionamiento automático por detector de presencia de envase.



*Figura 8 - Dosificadores y bombas de trasvase.*

### **2.8. Equipos de termosellado al vacío, de todas las producciones y capacidades (Figura 9)**

ILPRA dispone de una gama de 22 modelos de equipos termoselladores de

bandejas plásticas de todas las capacidades y para todas las tecnologías de conservación y regeneración.



Figura 9 - Termoselladores al vacío.

Equipos para envasar con efecto skin (Figura 10). Al vacío, en atmósfera protectora, en pasterización, en esterilización, en congelado y ultracongelado, con efecto barrido de gases etc., etc., etc.

A los equipos se les puede adaptar cargadores automáticos, pesadoras, etiquetadoras, desapiladoras de envases, entre otros.

Equipos con protección IP 65 aptos para funcionar en ambientes agresivos y húmedos.



Figura 10 - Ejemplos de productos envasados con efecto skin.

## 2.9. Pasterizador 100 Plus con abatimiento por nitrógeno

*Como cocedor Pasterizador 100 Plus (Figura 11)*

Equipo desarrollado en España, imprescindible para procesos de platos cocinados.



Figura 11 - Pasterizador 100 Plus.

*Para su uso como cocedor de pescados a granel (Figura 12)*

Se satura de vapor la cámara con el pescado crudo, congelado o fresco, sin envasar, sobre bandejas inox o cajas de plástico y se provoca una presión interior ligeramente elevada con aire comprimido superior al valor de vaporización del alimento cuando recibe calor. El resultado es una cocción muy rápida, uniforme y potenciada con el sabor natural que queda retenido en el alimento.

Si deseamos una cocción con merma mínima se introduce nitrógeno líquido y mantenemos la presión enfriando el producto hasta alcanzar una temperatura suficiente para que al sacar la presión, los jugos se queden en el alimento.

Si deseamos desprender con facilidad la piel, (cangrejo Chaka, langostinos, tunidos, etc,) variando la presión interior y el abatimiento conseguimos óptimos resultados (mismos resultados con frutas y verduras).



Figura 12 - Ejemplos de los productos cocidos a granel en el Pasterizador 100 Plus y sus aplicaciones.

### 3. EJEMPLOS DE PLATOS COCINADOS

#### 3.1. Pescado asado finalizado en microondas (calentar y comer)

- Pescado limpio se pasa por marinadora para darle sabor, túnel de dorado para asado superficial, envasado al vacío y ultracongelado.
- Regeneración 3 minutos en microondas con la bolsa, solo perforada en un sitio.

#### 3.2. Gambas a la plancha finalizadas en Microondas (Figura 13)

- Gambas pulverizadas de color, pasadas por el túnel, envasadas en barqueta y congeladas.
- Regeneración en Microondas.



Figura 13 - Gambas a la plancha pulverizadas.

#### 3.3. Bacalao a la brasa (Figura 14)

- Marinado, marcado, envasado con valor pasterizatríz 42 días de conservación en frío positivo.



Figura 14 - Bacalao a la brasa precocinado.

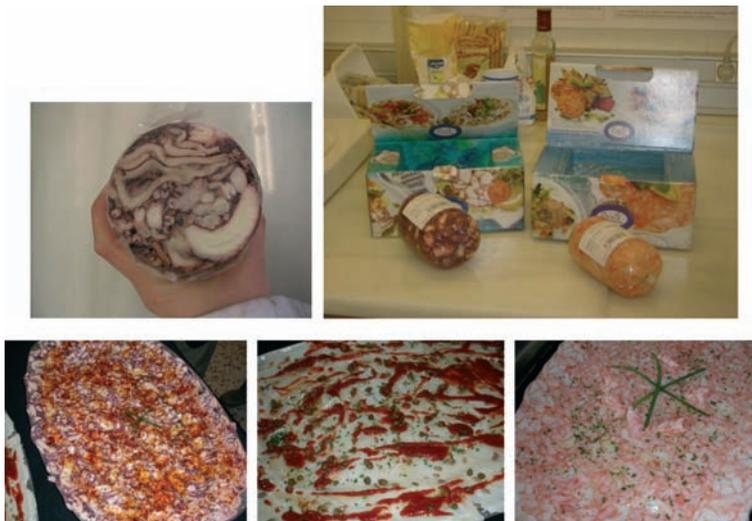
### 3.4. Pescado escabechado con toque del cheff (Figura 15)

- Ejemplos de platos desarrollados en la Planta Piloto de la Universidad Politécnica de Cataluña (Dpto. Tecnología de Alimentos), con la utilización de alginatos y sales cálcicas.



*Figura 15 - Pescado escabechado con toque del cheff precocinado.*

### 3.5. Carpaccio de pulpo, bacalao y gambas (Figura 16)



*Figura 16 - Ejemplos de carpaccio precocinado.*

### 3.6. Canicas de sepia y perca en su tinta (Figura 17)



Figura 17 - canicas de sepia precocinadas.

### 3.7. Filetes proporcionados de bacalao a la brasa aptos para ser empanados (Figura 18)



Figura 18 - Filetes de bacalao a la brasa precocinados.

### 3.8. Otras aplicaciones

3.8.1. Reconstitución de pescados eliminando la espina central y uniendo de nuevo: merluza y dorada a la brasa y en salsa (Figura 19)



Figura 19 - Dorada reconstituida y sin espina.

3.8.2. *Recuperación de carne de pescado para mousses, timbales, brandadas, taramas, etc. (Figura 20)*



*Figura 20 - Mousse y brandada elaboradas a partir de carne de pescado recuperada.*

3.8.3 *Guarniciones de diseño y forma atractivas de pescado sin espinas*

3.8.4. *Pescado light para platos para sector hospitalario, regímenes, geriátricos, niños, etc. pero con todo el sabor y con el toque del cheff.*

## **AGRADECIMIENTOS**

ILPRA, en colaboración con diversos centros de investigación, está desarrollando procesos de valor añadido a los alimentos. Damos nuestro agradecimiento por su colaboración al Dpto. de Investigaciones Pesqueras de la Universidad de Santiago en la persona de la Dra. Cruz Pascual y al Dpto. de la UPC de Barcelona en la persona de la Dra. Montserrat Pujol así como a expertos chefs y a la publicación Cocina Futuro.



## Capítulo IV:

# **PERSPECTIVAS DE LA UTILIZACIÓN DE PULSOS ELÉCTRICOS DE ALTA INTENSIDAD DE CAMPO EN LA CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS DERIVADOS DE LA PESCA**

---

**Pedro Elez Martínez**  
**Olga Martín Belloso\***

Departament de Tecnologia d'Aliments.  
Universitat de Lleida  
Av. Alcalde Rovira Roure, 191  
25198 Lleida. España.  
Tlfno.: +34-973 702 593. Fax: +34-973 702 596  
e-mail: [omartin@tecal.udl.es](mailto:omartin@tecal.udl.es)  
\* Autor al que debe dirigirse la correspondencia

## **1. INTRODUCCIÓN**

El procesado de alimentos mediante pulsos eléctricos de alta intensidad de campo (PEAIC) es una tecnología no térmica de conservación de alimentos que está siendo estudiada en los últimos años como una alternativa a los tratamientos térmicos. Ésta técnica consiste en aplicar pulsos eléctricos de alta intensidad (kV/cm) durante un periodo de tiempo muy corto ( $\mu$ s) a temperaturas bajas o moderadas. Los niveles de inactivación conseguidos en microorganismos patógenos y alteradores junto con el mínimo impacto que ocasionan en la calidad y las propiedades nutricionales de los alimentos, sugieren que es posible obtener alimentos seguros de alta calidad con una vida útil aceptable mediante el procesado con PEAIC.

La utilización de electricidad para estabilizar alimentos es muy antigua aunque, inicialmente, se aplicaba para aumentar la temperatura y conseguir así la

pasteurización de los alimentos. Esta técnica se utilizó para tratar zumo de uva (Tracy, 1932) y pasteurizar leche (Moses, 1938). Sin embargo, quedó prácticamente en el olvido en la década de los 40 (Palaniappan y Sastry, 1991; Martín et al. 1994).

En los años 50 surgió un tratamiento denominado "tratamiento electrohidráulico", el cual consistía en aplicar descargas de alta intensidad de campo y provocar la formación de un arco eléctrico, produciéndose así, la destrucción de microorganismos y enzimas, pero, al mismo tiempo, aparecían productos de electrólisis. Además, esta técnica producía cambios en la composición de los alimentos y un gran calentamiento de los mismos (Palaniappan y Sastry, 1991).

Fue en 1967, cuando Sale y Hamilton aplicando la electricidad en forma de pulsos demostraron que el efecto producido en los microorganismos era debido a la electricidad y no a la electrólisis ni al calor, puesto que los tratamientos no se realizaron a temperaturas elevadas.

Pero ha sido a finales del siglo XX, cuando se han realizado más estudios para conseguir mejorar esta técnica de conservación de alimentos, y se han patentado varios sistemas de aplicación de PEAC (Bushnell et al., 1993; Zhang et al., 1996; Yin et al., 1997). En este periodo de tiempo se han conseguido buenos resultados en la inactivación de microorganismos y enzimas así como en una modificación mínima de las propiedades nutricionales y sensoriales de los alimentos (Bendicho et al., 2002a; Espachs-Barroso et al., 2003; Martín-Belloso et al., 2005; Martín-Belloso y Elez-Martínez, 2005ab). Estas prometedoras evidencias han provocado que la industria alimentaria esté mostrando interés en la tecnología de PEAC para la conservación de alimentos y su futura aplicación industrial.

Desgraciadamente, no existen estudios sobre el procesado y conservación de productos derivados de la pesca mediante PEAC. En este capítulo se presenta información relacionada con el procesado y conservación de alimentos mediante PEAC que permitirá valorar la viabilidad de procesado y conservación de productos derivados de la pesca por PEAC.

## 2. INGENIERÍA DEL PROCESADO DE ALIMENTOS MEDIANTE PEAC

El equipo típico de procesado de alimentos mediante PEAC consta de una fuente de alimentación de alta tensión, cuya misión es almacenar energía en un condensador y un interruptor que permite la descarga de esa energía en pulsos rápidos ( $\mu$ s) de alta tensión (decenas de kV) a un recipiente que contiene el alimento a tratar (cámara de tratamiento) (Martín et al., 1994; Zhang et al., 1995; Barbosa-Cánovas et al., 1998).

### 2.1. Propiedades eléctricas de los alimentos

Cuando se aplica un campo eléctrico a la cámara de tratamiento que contiene

el alimento, la polarización de las moléculas dipolares y el movimiento de los transportadores de cargas, como los iones, en el interior del producto, inducen corrientes capacitivas y resistivas (Riley y Watson, 1987; Zhang et al., 1995). Por tanto, la cámara de tratamiento conteniendo el alimento se puede considerar eléctricamente como un circuito con una resistencia y un condensador conectados en paralelo, ya que, el circuito que modeliza la polarización dieléctrica es un condensador y el que modeliza la conducción por transporte de cargas es una resistencia.

Por consiguiente, en el diseño del procesado por PEAC y para conseguir una buena efectividad del mismo, las propiedades eléctricas de los alimentos adquieren gran importancia. La resistencia, la conductividad y las propiedades dieléctricas del alimento a tratar afectan en la forma en que los alimentos interactúan con el campo eléctrico (Lewis, 1993).

Cada material tiene una resistencia específica, llamada resistividad, y según el valor de ésta presentará más o menos dificultad al paso de la corriente eléctrica. El parámetro inverso es la conductividad, y representa la facilidad que da un material al paso de corriente eléctrica (Tipler, 1994). La conductividad aumenta con la fuerza iónica del medio y con la temperatura (Lewis, 1993). La intensidad de campo eléctrico generada disminuye al aumentar la conductividad del alimento (Martín et al., 1994).

El alimento contenido en la cámara de tratamiento, además de comportarse como una resistencia, también se comporta como un condensador y por tanto puede almacenar carga eléctrica (Lewis, 1993).

La constante dieléctrica relativa de un alimento, que se comporta como condensador, es la relación entre la capacidad del alimento a estudio y la capacidad del aire o del vacío bajo las condiciones estudiadas. Cuando aumenta la constante dieléctrica del alimento, éste, como condensador, puede almacenar una cantidad mayor de energía.

La impedancia es un concepto que surge cuando se trabaja con corriente alterna y representa la oposición por parte de un aparato o de un circuito al paso de esta corriente a una determinada frecuencia. Se ha observado que la impedancia puede variar con las características del producto y la temperatura (Arántegui et al., 1999).

## **2.2. Equipos de procesado de alimentos mediante PEAC**

Los aspectos más importantes en esta tecnología son la generación de intensidades de campo altas y el diseño de cámaras para tratar el alimento de forma uniforme con el mínimo incremento de temperatura y evitando el fenómeno de electrólisis. Para que no haya un incremento elevado en la temperatura durante el tratamiento, se tiene que utilizar algún sistema de refrigeración o usar una frecuencia muy baja de aplicación de pulsos. Además, el uso de pulsos cortos reduce la cantidad de calor aportada al alimento (Zhang et al., 1995).

### 2.2.1. Parámetros de procesamiento de los PEAIC

La intensidad de campo eléctrico (E), la duración del pulso (t) y el tiempo de tratamiento (t) están definidos por las ecuaciones 1, 2 y 3; donde V es la diferencia de potencial entre los electrodos, R es la resistencia del alimento, C<sub>0</sub> es la capacidad del condensador y n es el número de pulsos.

$$(1) \quad E = \frac{V}{d}$$

$$(2) \quad \tau = R \cdot C_0$$

$$(3) \quad t = n \cdot \tau$$

La frecuencia de pulsación también es un parámetro importante en el procesamiento de alimentos mediante PEAIC. Tanto la frecuencia como la duración del pulso van a definir, en gran medida, la temperatura durante el procesamiento de alimentos mediante PEAIC.

El proceso de descarga del condensador que da lugar al pulso de tensión sobre la cámara que contiene la muestra puede realizarse de distintas maneras dando lugar a diferentes formas de pulso: caída exponencial, onda cuadrada y oscilatorio. En el caso de que se alterne o no la polaridad de la descarga se consiguen pulsos bipolares o monopolares, respectivamente. Las formas de pulso más comunes usadas son las de caída exponencial y las de onda cuadrada (Figura 1) (Qin et al., 1994).

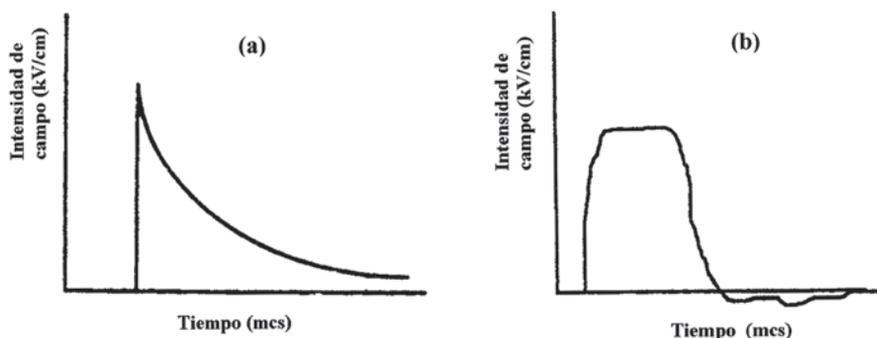


Figura 1 - Pulsos de caída exponencial (a) y de onda cuadrada (b).

La energía eléctrica (Q) suministrada al alimento es un parámetro que incluye el campo eléctrico y el tiempo de tratamiento. Este parámetro es muy útil para comparar la efectividad de los tratamientos mediante PEAIC cuando se trabaja a diferentes condiciones eléctricas o incluso cuando los tratamientos se llevan a cabo con diferentes equipos de tratamiento. Q se puede calcular usando

la ecuación (4) o la ecuación (5) si los pulsos son de caída exponencial o de onda cuadrada, respectivamente (Martín-Belloso et al., 2005).

$$(4) \quad Q = \int_0^t \frac{V_0 \cdot I}{2 \cdot v} dt$$

$$(5) \quad Q = \int_0^t \frac{V_0 \cdot I}{v} dt$$

donde,  $V_0$  es el pico de voltaje,  $I$  la intensidad de la corriente,  $t$  el tiempo de tratamiento, y  $v$  el volumen de la cámara de tratamiento.

### 2.2.2. Cámaras de tratamiento

La función principal de las cámaras de tratamiento es la creación de un campo eléctrico en su interior cuando contiene el alimento. Teniendo en cuenta que mediante su diseño se debe evitar al máximo la rotura dieléctrica del alimento y proporcionar una uniformidad de campo máxima, éstas no pueden ser totalmente estancas y deben permitir la refrigeración en caso necesario (Martín et al., 1994; Qin et al., 1995b; Zhang et al., 1995).

Al diseñar la cámara de tratamiento debe tenerse en cuenta la geometría de los electrodos y deberá elegirse el tipo de material a usar en la construcción de las cámaras, que deberá ser fácilmente lavable y esterilizable. Los electrodos, normalmente, son de acero inoxidable o grafito y el aislante suele ser de material polimérico o de cerámica. Por otra parte, el diseño de la cámara debe ser tal que permita fácilmente el llenado y vaciado de los alimentos. Además, dado que las burbujas de gas pueden inducir la formación de arcos eléctricos, se debe permitir la completa eliminación del aire durante el proceso de llenado (Martín et al., 1994).

La geometría de los electrodos (y, por extensión, de la cámara) puede ser muy variable, predominando los electrodos en forma de placas paralelas, cilindros concéntricos, cables paralelos y varillas (Hofmann, 1989). La geometría de placas paralelas es una de las más adecuadas por su simplicidad y la uniformidad del campo eléctrico que se crea en su interior (Martín et al., 1994).

Las cámaras de tratamiento de alimentos pueden diseñarse para trabajar por lotes o en continuo, dependiendo de si el alimento permanece en la cámara durante todo el tratamiento o si, en cambio, existe un flujo continuo del mismo a través de la cámara durante el intervalo de tiempo que dura el tratamiento. Sale y Hamilton (1967) y Dunn y Pearlman (1987) diseñaron cámaras estáticas que podían conseguir un campo máximo de 25 kV/cm. Grahl et al. (1992) también diseñaron una cámara de este tipo donde se conseguía un campo de 30 kV/cm y Zhang et al. (1996) construyeron una con la que se llegaba hasta campos de 40 kV/cm. En la Universidad de Lleida se han diseñado cámaras estáticas

en cuyo interior se consigue una intensidad de campo uniforme y elevada a la vez que una buena transmitancia eléctrica. Este tipo de cámaras son de una gran versatilidad de tal forma que se obtiene la máxima transmitancia eléctrica para cada uno de los diversos alimentos tratados. La cámara está formada por dos electrodos lisos de acero inoxidable y dispuestos en paralelo, recubiertos con material aislante (Figura 2).

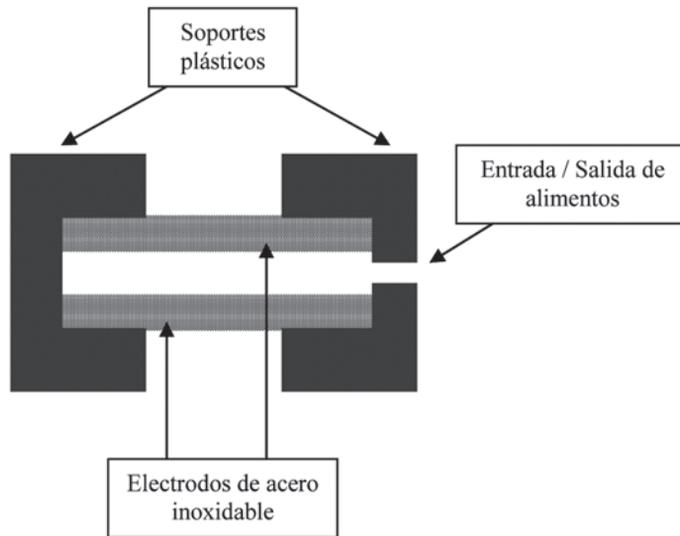


Figura 2 - Esquema de las cámaras de tratamiento estáticas diseñadas en la Universidad de Lleida.

En cuanto a las cámaras de flujo continuo, pueden diseñarse tomando como base las estáticas. Sin embargo, debe considerarse la cantidad de energía aportada a la cámara y adecuar la velocidad de repetición de pulsos a la velocidad de flujo del alimento. Puede hacerse necesaria la refrigeración durante el tratamiento (Martín et al., 1994).

Dunn y Pearlman (1987) diseñaron una cámara con 2 electrodos paralelos, que no estaban en contacto directo con el alimento, sino separados por unas membranas permeables a los iones. Otra cámara de tratamiento en continuo descrita por Dunn y Pearlman (1987) presenta varias zonas con electrodos separadas por un material aislante, donde la intensidad de campo eléctrico va variando a lo largo de la cámara según la posición en la que se encuentre el fluido.

Matsumoto et al. (1991) diseñaron una cámara de tratamiento en la que los electrodos circulares estaban separados por una placa de teflón con un orificio en el medio, de tal forma que la intensidad de campo eléctrico se concentraba en este pequeño espacio.

Aunque en las cámaras de tratamiento de forma coaxial la intensidad de campo no es uniforme, se ha centrado mucho la atención en ellas debido a la uniformidad en el flujo del fluido y la simplicidad en la estructura de la cámara (Zhang et al., 1995).

En la Universidad Estatal de Ohio (USA) se han diseñado cámaras de tratamiento con electrodos que pueden ser de diferentes formas (tubulares, cilíndricos, rectangulares, elípticos o con un diseño no uniforme). Las cámaras diseñadas para el procesado en continuo de los alimentos pueden disponerse en serie y, además, el alimento se refrigera en el espacio entre cámaras (Yin et al., 1997) (Figura 3).

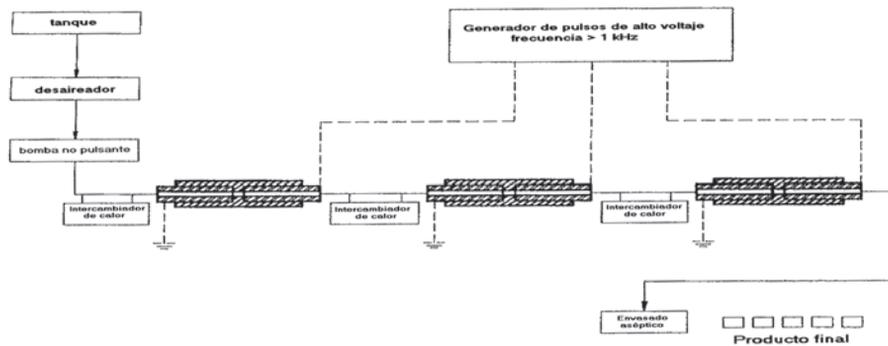


Figura 3 - Equipo de tratamiento de alimentos líquidos por PEAC mediante varias cámaras dispuestas en serie (Yin et al., 1997).

### 3. EFECTOS DE LOS PEAC SOBRE MICROORGANISMOS, ENZIMAS Y OTROS COMPONENTES Y PROPIEDADES DE LOS ALIMENTOS

#### 3.1. Efecto de los PEAC sobre los microorganismos

En el tratamiento de alimentos mediante pulsos eléctricos de alta intensidad de campo (PEAC) se ha conseguido una destrucción elevada de microorganismos en diferentes productos (Hülshager et al., 1981; Dunn y Pearlman, 1987; Jayaram et al., 1992; Zhang et al., 1994a; Qin et al., 1995ab; Pothakamury et al., 1995ab; Martín et al., 1997; Calderón-Miranda et al., 1999ab; Wouters et al., 1999; Raso et al., 2000; Aronsson et al., 2001; Álvarez et al., 2003ab; Elez-Martínez et al., 2004, 2005). Sin embargo, en estudios sobre la inactivación de esporas mediante PEAC no se han logrado resultados tan contundentes (Marquez et al., 1997; Cserhalmi et al., 2002).

##### 3.1.1. Mecanismo de destrucción microbiana por PEAC

La aplicación de PEAC destruye los microorganismos debido a la lisis de la membrana celular, fenómeno que tiene lugar cuando se supera una intensidad

de campo umbral característica de cada microorganismo. Según la teoría de la ruptura dieléctrica, el campo eléctrico externo provoca una diferencia de potencial eléctrico en la membrana celular conocido como potencial transmembrana. Este, induce la permeabilización de la membrana celular. El grado de permeabilización depende de la intensidad y duración del campo aplicado. Según el tratamiento que se aplica, la rotura de la membrana celular puede ser reversible o irreversible (Martín et al., 1994). Cuando el potencial transmembrana llega a un valor umbral crítico se produce la electroporación o formación del poro en la membrana celular, debido a una desestabilización de la bicapa lipídica y las proteínas de la membrana, y la consiguiente destrucción del microorganismo (Sale y Hamilton, 1967; Zimmermann et al., 1980; Castro et al., 1993).

Existen diversos estudios sobre el efecto de los PEAIC en microorganismos que confirman la teoría de que la muerte microbiana se produce por la compresión electromecánica y la electroporación inducida por los PEAIC (Jayaram et al., 1992; Harrison et al., 1997; Pothakamury et al., 1997; Shin y Pyun, 1999; Aronsson et al., 2001; Elez-Martínez et al., 2004, 2005) (Figura 4).

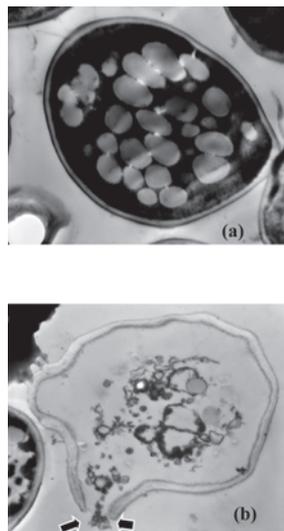


Figura 4.- Micrografías obtenidas con un microscopio de transmisión de electrones (TEM) ( $\times 16000$ ) de células de *Saccharomyces cerevisiae* en zumo de naranja antes (a) y después (b) de un tratamiento mediante PEAIC. Las flechas indican los daños celulares provocados (Elez-Martínez et al., 2004).

### 3.1.2. Inactivación microbiana mediante PEAIC

La efectividad del procesado mediante PEAIC en la destrucción microbiana depende de las condiciones del tratamiento, del tipo de producto y del microorganismo a tratar (Bendicho et al., 2002a; Espachs-Barroso et al., 2003a). Las

Tablas 1 y 2 contienen una recopilación de los resultados de diversos trabajos realizados con microorganismos patógenos y alteradores de alimentos, respectivamente.

Microorganismo	Medio	Condiciones de tratamiento*	Reducción logarítmica decimal	Referencia
<i>Bacillus subtilis</i>	Sopa de guisantes	<sup>b</sup> 33 kV/cm, 30 pulsos, 2 μs, 55 °C	5,3	Vega-Mercado et al. (1996a)
<i>Bacillus subtilis</i> esporas	0,15 NaCl	<sup>a</sup> 50 kV/cm, 30 pulsos, 2 μs, 25 °C	3,4	Marquez et al. (1997)
<i>Escherichia coli</i>	Leche desnatada	<sup>a</sup> 45 kV/cm, 64 pulsos, 1.8-6 μs, 15 °C	3	Martín et al. (1997)
<i>Escherichia coli</i>	Sopa de guisantes	<sup>b</sup> 33 kV/cm, 30 pulsos, 2 μs, 55 °C	6,5	Vega-Mercado et al. (1996a)
<i>Escherichia coli</i>	Tampón McIlvaine (pH = 7.0)	25 kV/cm, 700 pulsos, 2 μs, 35 °C	6	Álvarez et al. (2003a)
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	Zumo de manzana	<sup>b</sup> 30 kV/cm, 43 pulsos, 4 μs, 25 °C	5	Evrendilek et al. (1999)
<i>Listeria innocua</i>	Huevo líquido	<sup>b</sup> 50 kV/cm, 32 pulsos, 2 μs, 36 °C	3,5	Calderón-Miranda et al. (1999a)
<i>Salmonella dublin</i>	Leche desnatada	<sup>b</sup> 25 kV/cm, 100 pulsos, 1 μs, 20 °C	2,7	Sensoy et al. (1997)
<i>Salmonella dublin</i>	Leche desnatada	<sup>b</sup> 25 kV/cm, 100 pulsos, 1 μs, 50 °C	4	Sensoy et al. (1997)
<i>Staphylococcus aureus</i>	SMUF <sup>c</sup>	<sup>a</sup> 40 kV/cm, 64 pulsos, 3 μs, 15 °C	6	Zhang et al. (1994a)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Peptona 0.1%	<sup>a</sup> 10 kV/cm, 10 pulsos, 2 μs, 20 °C	6	Ho et al. (1995)
<i>Yersinia enterocolitica</i>	NaCl 0.1M (pH = 7.2)	<sup>a</sup> 75 kV, 250 pulsos	7	Lubicki y Jayaram (1997)

\* Intensidad de campo eléctrico, numero de pulsos, anchura de pulso, temperatura de tratamiento

<sup>a</sup> Procesado por lotes

<sup>b</sup> Procesado en continuo

<sup>c</sup> SMUF: solución modelo de leche

Tabla 1 - Efecto del tratamiento mediante PEAC en microorganismos patógenos.

Microorganismo	Medio	Condiciones de tratamiento*	Reducción logarítmica decimal	Referencia
<i>Lactobacillus leichmannii</i>	0.1% NaCl	<sup>b</sup> 20 kV/cm, 48.5 pulsos, 3 μs, 35 °C	1,6	Unal et al. (2002)
<i>Lactobacillus brevis</i>	Zumo de naranja	<sup>b</sup> 35 kV/cm, 250 pulsos, 4 μs, 35 °C	5,8	Elez-Martínez et al. (2005a)
<i>Lactobacillus brevis</i>	Zumo de melocotón	<sup>a</sup> 32,5 kV/cm, 16 pulsos, 4 μs, 20 °C	2,7	Arántegui et al. (2000)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Medio nutritivo (pH = 5)	<sup>b</sup> 30 kV/cm, 40 pulsos, 2 μs, 30 °C	4,5	Aronsson et al. (2001)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Medio nutritivo (pH = 5)	<sup>b</sup> 30 kV/cm, 40 pulsos, 4 μs, 30 °C	6,4	Aronsson et al. (2001)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Zumo de manzana	<sup>a</sup> 40 kV/cm, 65 pulsos, 3 μs, 15 °C	5,5	Zhang et al. (1994a)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Zumo de naranja	<sup>b</sup> 35 kV/cm, 250 pulsos, 4 μs, 39 °C	5,1	Elez-Martínez et al. (2004)
<i>Zygosaccharomyces bailii</i>	Zumo de manzana	<sup>b</sup> 32,3 kV/cm, 2 pulsos, 2,5 μs, 19 °C	4,8	Raso et al. (1998a)
<i>Zygosaccharomyces bailii</i>	Zumo de naranja	<sup>b</sup> 34,3 kV/cm, 2 pulsos, 2,0 μs, 20 °C	4,7	Raso et al. (1998a)
<i>Zygosaccharomyces bailii</i>	Zumo de uva	<sup>b</sup> 35,0 kV/cm, 2 pulsos, 2,3 μs, 20 °C	5,0	Raso et al. (1998a)
<i>Byssoschlamys fulva</i>	Zumo de tomate	<sup>b</sup> 30 kV/cm, 15 pulsos, 2 μs, 23 °C	3,8	Raso et al. (1998b)
<i>Byssoschlamys fulva</i>	Zumo de arándano	<sup>b</sup> 32,5 kV/cm, 2 pulsos, 3,3 μs, 22 °C	5,9	Raso et al. (1998b)

\* Intensidad de campo eléctrico, número de pulsos, anchura de pulso, temperatura de tratamiento

<sup>a</sup> Procesado por lotes, <sup>b</sup> Procesado en continuo

Tabla 2 - Efecto del tratamiento mediante PEAC en microorganismos alteradores.

Dos parámetros importantes en el nivel de inactivación microbiana son la intensidad de campo eléctrico y el tiempo de tratamiento (proporcional al número de pulsos aplicados). Numerosos estudios indican que la inactivación microbiana es mayor cuando el campo eléctrico y el tiempo de tratamiento aumentan (Hülshager et al., 1981; Zhang et al., 1994ab; Qin et al., 1996, 1998; Evrendilek et al., 1999; Martin et al., 1997; Rodrigo et al., 2003a; Cserhalmi et al., 2002; Abram et al., 2003; Elez-Martínez et al., 2004, 2005) (Figura 5).

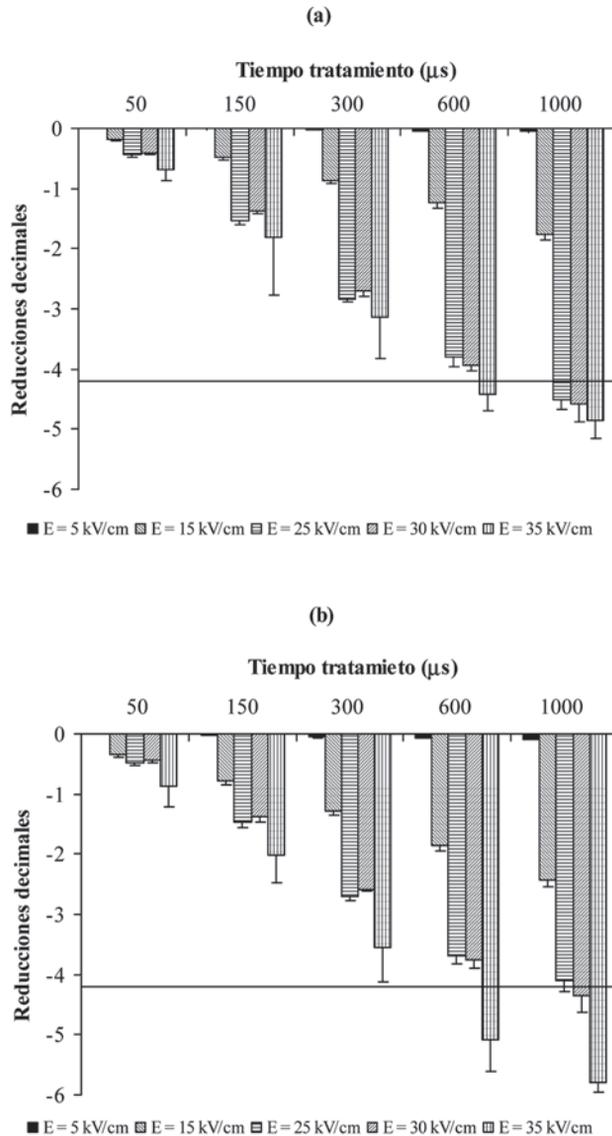


Figura 5 - Inactivación de *Lactobacillus brevis* en zumo de naranja expuesto a PEAC aplicados en forma monopolar (a) y bipolar (b). E, intensidad de campo eléctrico.

Tratamiento térmico = 90 °C / 1 minuto (línea horizontal) (Elez-Martínez et al., 2005).

El tiempo de tratamiento se define como el producto del número de pulsos aplicados por la anchura de pulso, por lo que ambos factores conjuntamente son determinantes en el grado de inactivación que se alcance. Para tratamientos con el mismo campo eléctrico y número de pulsos, la inactivación de microorganismos aumenta con el incremento de la anchura de pulso (Martín-Belloso

et al., 1997; Sensoy et al., 1997; Wouters et al., 1999; Abram et al., 2003), mientras que la inactivación microbiana disminuye con la anchura de pulso cuando se aplican tratamientos con igual intensidad de campo eléctrico y tiempo de tratamiento (Jayaram et al., 1992; Elez-Martínez et al., 2004, 2005). También se ha observado que la inactivación microbiana aumenta al disminuir la frecuencia de pulsación, trabajando a intensidades de campo eléctrico y tiempos de tratamiento constantes (Elez-Martínez et al., 2004, 2005).

Qin et al. (1994) estudiaron la efectividad de los diferentes tipos de pulso y observaron que los pulsos oscilatorios fueron menos eficaces para inactivar microorganismos y que la eficiencia energética y la letalidad de los pulsos de onda cuadrada fue mayor que la de los de caída exponencial. Qiu et al. (1998) al igual que Zhang et al. (1994b) y Pothakamury et al. (1996) también observaron que los pulsos de onda cuadrada conseguían un efecto inactivador mayor que los pulsos de caída exponencial.

En cuanto a la polarización del pulso, los pulsos bipolares resultaron ser más letales que los monopoles (Qin et al., 1994; Ho et al., 1995; Elez-Martínez, 2004, 2005). Además, los pulsos bipolares tienen la ventaja de que reducen la electrolisis de los alimentos fluidos (Qin et al., 1994).

El procesado de alimentos mediante PEAC se puede realizar por lotes o de forma continua. En general, procesando en continuo los alimentos se obtienen mayores niveles de inactivación microbiana que con el procesado por lotes (Martín et al., 1997).

Jayaram et al. (1992), Zhang et al. (1995), Pothakamury et al. (1996), Vega-Mercado et al. (1996a), Reina et al. (1998) y Shin y Pyun (1999) observaron efectos sinérgicos entre la temperatura de tratamiento y los PEAC para conseguir mejores niveles de inactivación. También Wouters et al. (1999) observaron este efecto, ya que, cuando la temperatura inicial de las muestras era más elevada, se requería aportar menos energía en forma de pulsos eléctricos para conseguir niveles de inactivación similares de *Listeria innocua*.

Zhang et al. (1994a) observaron que la susceptibilidad a la inactivación depende del tamaño de los microorganismos a tratar; ya que hicieron un estudio con 3 microorganismos y el que más fácilmente se inactivó fue *Saccharomyces cerevisiae*, seguidamente, *Escherichia coli*, y por último *Staphylococcus aureus*, que es el de menor tamaño.

En general las levaduras son los microorganismos más sensibles a los PEAC, seguidas por las bacterias gram-negativas y finalmente por las bacterias gram-positivas (Sale y Hamilton, 1967; Zhang et al., 1994a; Grahl y Märkl, 1996; Qin et al., 1998; Aronsson et al., 2001; Cserhalmi et al., 2002). Contrariamente, Hülshager et al. (1983) expusieron que las bacterias gram-positivas y las levaduras eran menos sensibles al tratamiento que las bacterias gram-negativas.

Las esporas son las formas microbianas más resistentes a los distintos tipos de tratamientos de conservación incluida la aplicación de PEAIC, siendo las esporas de levaduras más sensibles a estos tratamientos que las esporas bacterianas (Yonemoto et al., 1993). Estas, debido a su pequeño tamaño, son más difíciles de destruir y sólo pueden ser inactivadas durante el periodo de germinación y crecimiento (Hamilton y Sale, 1967; Marquez et al., 1997; Barbosa-Cánovas et al., 1998; Barsotti y Cheftel, 1999). Sin embargo, Yin et al. (1997) llegaron a conseguir niveles de inactivación de esporas de *Bacillus subtilis* de hasta un 95-98%.

El estado de crecimiento en el que se encuentran los microorganismos también interviene en el nivel de inactivación conseguido. Hülshager et al. (1983) observaron que las células que se encontraban en la fase logarítmica de crecimiento eran más sensibles a los PEAIC que las que se encontraban en la fase estacionaria. Gásková et al. (1996), Pothakamury et al. (1996), Álvarez et al. (2000) y Rodrigo et al. (2003a) corroboraron estos resultados con otros microorganismos.

El efecto de la concentración inicial de microorganismos es controvertido. Algunos autores han observado que la inactivación microbiana no depende de la concentración inicial de microorganismo (Zhang et al., 1995; Álvarez et al., 2000). En cambio, Zhang et al. (1994bc) observaron que la concentración inicial de microorganismo estaba inversamente correlacionada con su supervivencia después del tratamiento de PEAIC.

En muchos casos, los niveles de inactivación microbiana aumentan cuando disminuye la conductividad eléctrica del medio de tratamiento para *Lactobacillus brevis*, *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Salmonella dublin* y *Listeria innocua* (Jayaram et al., 1992; Grahl y Märkl, 1996; Sensoy et al., 1997; Wouters et al., 1999). Sin embargo, Álvarez et al. (2000) observaron que la conductividad no tuvo influencia sobre la inactivación de *Salmonella seftenberg* y Gásková et al. (1996) encontraron que la inactivación de *Saccharomyces cerevisiae* era inversamente proporcional a la conductividad del medio. Por tanto, el efecto de la conductividad del medio sobre la destrucción microbiana depende de las características del microorganismo. Hülshager et al. (1981) y Vega-Mercado et al. (1996b) observaron que al disminuir la fuerza iónica del medio, la inactivación fue mayor.

En cuanto a la influencia del pH en la inactivación microbiana por PEAIC, algunos autores han observado que el pH no influye (Sale y Hamilton, 1967; Hülshager et al., 1981). Sin embargo, más tarde, se demostró que el pH del medio juega un papel importante en la inactivación microbiana por PEAIC. Liu et al. (1997), Vega-Mercado et al. (1996b) y Wouters et al. (1999) observaron que la inactivación era mayor cuando se disminuía el valor de pH por debajo del pH óptimo de crecimiento del microorganismo estudiado. Por otro lado, Jeantet et al. (1999) han descrito el mismo efecto al aumentar el pH del medio por encima del pH de crecimiento ideal del microorganismo. Recientes estudios con

diferentes microorganismos a distintos valores de pH han permitido confirmar que los tratamientos realizados a valores de pH próximos al de crecimiento óptimo del microorganismo estudiado producen menos efectos letales (Aronsson y Rönner, 2001). No obstante, al estudiar los efectos de varios tratamientos con PEAIC sobre *Salmonella senftenberg*, Álvarez et al. (2000) observaron el efecto contrario.

Aunque el papel de la actividad de agua del medio sobre la supervivencia de los microorganismos sometidos a PEAIC no ha sido muy estudiada, se ha observado que la disminución de la actividad de agua protege a los microorganismos de los PEAIC (Min y Zhang, 2000; Aronsson y Rönner, 2001).

La inactivación de los microorganismos mediante PEAIC está afectada por la temperatura del producto al inicio del tratamiento. Aumentando de forma moderada la temperatura de entrada del producto se favorece el efecto inactivador de los PEAIC (Wouters et al., 1999; Aronsson y Rönner, 2001; Aronsson et al., 2001; Sobrino et al., 2001). Hülshager et al. (1981) también encontraron un efecto sinérgico de la temperatura del medio y el tratamiento de PEAIC en los niveles de inactivación.

Los estudios sobre la influencia de la composición del medio en la inactivación microbiana por PEAIC es controvertida. Mientras unos autores han observado un efecto protector de algunos constituyentes de los alimentos como la goma de xantano (Ho et al., 1995), proteínas (Martín et al., 1997) o grasa (Grahl y Märkl, 1996), otros no han observado diferencias entre la inactivación microbiana en soluciones tampón con diferentes componentes y en medios complejos como leche (Reina et al., 1998; Dutrueux et al., 2000; Mañas et al., 2001).

Los resultados conseguidos dependen también del tipo de producto a tratar, en productos líquidos como zumos (Zhang et al., 1994b; Qin et al., 1995a; Qiu et al., 1998; Evrendilek et al., 1999; Elez-Martínez et al., 2004, 2005), huevo (Martín-Belloso et al., 1997; Jeantet et al., 1999), sopa de guisante (Vega-Mercado et al., 1996a), leche (Dunn y Pearlman, 1987; Grahl y Märkl, 1996; Martín et al., 1997; Qin et al., 1998) entre otros, en general se obtuvieron inactivaciones del orden de 2 a 6 ciclos logarítmicos. Se ha observado que aplicando la misma intensidad de campo y número de pulsos, se consigue un mayor nivel de inactivación de microorganismos en soluciones tampón o soluciones modelo que en productos reales, debido a la mayor complejidad de composición de éstos últimos (Martín et al., 1997).

También se ha evaluado la inactivación de microorganismos en un modelo de alimento semisólido, Zhang et al. (1994a) inocularon por separado *E. coli*, *S. aureus* y *S. cerevisiae* en agar de patata y dextrosa consiguiendo una inactivación de 6 ciclos logarítmicos para cada uno de los tres microorganismos.

Keith et al. (1997) procesaron productos sólidos con PEAIC y observaron que el tratamiento de especias mediante pulsos eléctricos es sustancialmente menos

efectivo que el de los líquidos, ya que sólo se consiguió una destrucción menor que 1 ciclo logarítmico para valores de campo eléctrico de hasta 80 kV/cm. Se ha procesado también harina mediante PEAIC con intensidades de campo superiores a 20 kV/cm consiguiendo descensos de microorganismos aerobios también inferiores a 1 reducción logarítmica (Keith et al., 1998).

### 3.2. Efecto de los PEAIC sobre los enzimas

En cuanto a los enzimas, no existen tantos estudios como en el caso de los microorganismos. Las investigaciones realizadas en este campo son más recientes y los resultados dependen del enzima estudiado puesto que se ha conseguido disminuir parcial o totalmente la actividad de algunos enzimas como pectinmetilesterasas (PME) (Giner et al., 2000; Yeom et al., 2002; Elez-Martínez et al., 2007a), poligalacturonasa (PG) (Giner et al., 2003), polifenoloxidasas (PPO) (Ho et al., 1997; Giner et al., 2001, 2002), peroxidases (POD) (Ho et al., 1997; Elez-Martínez et al., 2006a); lipoxigenasa (LOX) (Min et al., 2003a); papaina (Yeom et al., 1999), glucosaoxidasa, lisoenzima, amilasa (Ho et al., 1997), plasmina (Vega-Mercado et al., 1995), lipasas y proteasas bacterianas (Ho et al., 1997; Bendicho et al., 2002c, 2003a), fosfatasa alcalina láctea (Barbosa-Cánovas et al., 1998), pepsina (Yang et al., 2004ab) y quimotripsina (Yang et al., 2004a).

En cambio, en otros estudios, las actividades enzimáticas no se modificaron (Ho et al., 1997; Barsotti et al., 2002; Van Loey et al., 2002) o incluso aumentaron (Ho et al., 1997). La Tabla 3 muestra una recopilación de diversos estudios sobre los efectos de los PEAIC en el grado de inactivación de enzimas.

#### 3.2.1. Mecanismo de inactivación enzimática mediante PEAIC

El conjunto de datos obtenidos hasta este momento no permite todavía confirmar ninguna de las hipótesis que intentan explicar los mecanismos por los que los enzimas modifican su actividad al estar sometidos a procesado mediante PEAIC. En la actualidad, la hipótesis con más aceptación sostiene que, debido a las elevadas intensidades de campo eléctrico a que se somete al enzima, su estabilidad estructural se ve comprometida perturbando la distribución espacial del centro activo. Esta perturbación es la que provoca modificaciones de la actividad enzimática. Existe más discusión acerca del lugar concreto al que afecta el procesado mediante PEAIC ya que cualquier enzima, como proteína que es, posee hasta cuatro niveles estructurales distintos con fuerzas de interacción de magnitud decreciente a medida que aumenta la complejidad estructural. Diversos autores han relacionado la pérdida de actividad enzimática provocada por los PEAIC con cambios a nivel de la estructura proteica secundaria (Yeom et al., 1999; Castro et al., 2001b; Yang et al., 2004b; Zhong et al., 2005). Otros apuntan a que estos tratamientos favorecían las reacciones de ionización de los grupos tiol de las cadenas laterales de cisteína. Debido a la inestabilidad de estos grupos ionizados, posteriores reacciones de oxidación-reducción con otros puntos de la proteína serían más probables (Barsotti y Cheftel, 1999).

Perspectivas de la Utilización de Pulsos Eléctricos de Alta Intensidad de Campo en la Conservación de Productos Derivados de la Pesca

Enzima	Medio	Condiciones de tratamiento*	Inactivación (%)	Referencia
<i>Pectinmetilesterasa</i> (tomate)	NaCl 8,8%	<sup>a</sup> 24 kV/cm, 8000 $\mu$ s, 15 °C	93,8	Giner et al. (2000)
<i>Pectinmetilesterasa</i> (tomate)	Agua destilada	<sup>a</sup> 30 kV/cm, 40000 $\mu$ s	<10	Van Loey et al. (2002)
<i>Pectinmetilesterasa</i>	Zumo de naranja	<sup>b</sup> 35 kV/cm, 59 $\mu$ s, 60,1 °C	88	Yeom et al. (2000a)
<i>Pectinmetilesterasa</i>	Zumo de naranja	<sup>b</sup> 35 kV/cm, 1500 $\mu$ s, 40 °C	80	Elez-Martínez et al. (2007)
<i>Polilacturonasa</i>	Preparado enzimático comercial	<sup>a</sup> 10,3 kV/cm, 32400 $\mu$ s, 25 °C	98	Giner et al. (2003)
<i>Polifenoloxidasa</i> (manzana)	Tampón McIlvaine (pH = 6.5)	<sup>a</sup> 24.6 kV/cm, 6000 $\mu$ s, 15°C	96	Giner et al. (2001)
<i>Polifenoloxidasa</i> (manzana)	Tampón McIlvaine (pH = 6.5)	<sup>a</sup> 31 kV/cm, 1000 $\mu$ s	<10	Van Loey et al. (2002)
<i>Polifenoloxidasa</i> (melocotón)	Tampón McIlvaine (pH = 6.5)	<sup>a</sup> 24,3 kV/cm, 5000 $\mu$ s, 25 °C	70	Giner et al. (2002)
<i>Polifenoloxidasa</i> (pera)	Tampón McIlvaine (pH = 6.5)	<sup>a</sup> 22,3 KV/cm, 6000 $\mu$ s, 15 °C	62	Giner et al. (2001)
<i>Lipoxigenasa</i>	Zumo de tomate	<sup>b</sup> 35 kV/cm, 50 $\mu$ s, 30 °C	80	Min et al. (2003a)
<i>Peroxidasa</i>	Zumo de naranja	<sup>b</sup> 35 kV/cm, 1500 $\mu$ s, 35 °C	100	Elez-Martínez et al. (2006a)
<i>Peroxidasa</i> (puerro)	Solución tampón	<sup>b</sup> 22 kV/cm, 1863, 40 °C	34,7	Zhong et al. (2005)
<i>Proteasa</i> ( <i>P. fluorescens</i> )	Solución de caseína	<sup>b</sup> 14-15 kV/cm, 196 $\mu$ s	0	Vega-Mercado et al. (2001)
<i>Proteasa</i> ( <i>B. subtilis</i> )	Leche desnatada	<sup>b</sup> 35,5 kV/cm, 866 $\mu$ s, 46°C	81.1	Bendicho et al. (2003a)
<i>Proteasa</i> ( <i>B. subtilis</i> )	Leche entera	<sup>b</sup> 35,5 kV/cm, 866 $\mu$ s, 46°C	57.1	Bendicho et al. (2003a)
<i>Proteasa</i> ( <i>B. subtilis</i> )	SMUF <sup>c</sup>	<sup>b</sup> 35,5 kV/cm, 866 $\mu$ s, 40°C	62.7	Bendicho et al. (2003a)
<i>Proteasa</i> ( <i>B. subtilis</i> )	SMUF <sup>c</sup>	<sup>a</sup> 16,4-27.4 kV/cm, 320 $\mu$ s	0	Bendicho et al. (2003b)
<i>Proteasa</i> ( <i>B. subtilis</i> )	Leche desnatada	<sup>b</sup> 26,1-37,3 kV/cm, 143 $\mu$ s	0/activación-inactivación <sup>d</sup>	Bendicho et al. (2001)
<i>Lipasa</i> ( <i>P. fluorescens</i> )	SMUF <sup>c</sup>	<sup>a</sup> 27,4 kV/cm, 314,5 $\mu$ s, 34 °C	62,1	Bendicho et al. (2002b)

Enzima	Medio	Condiciones de tratamiento*	Inactivación (%)	Referencia
<i>Lipasa</i> ( <i>P. fluorescens</i> )	SMUF <sup>c</sup>	<sup>b</sup> 37,3 kV/cm, 136 μs, 35 °C	13	Bendicho et al. (2002b)
<i>Proteasa</i> ( <i>P. fluorescens</i> )	Leche desnatada	<sup>b</sup> 14-15 kV/cm, 196 μs	60	Vega-Mercado et al. (2001)
<i>Enzimas pectolíticos</i>	Preparado comercial	<sup>b</sup> 35 kV/cm, 1000 μs	98.4	Espachs-Barroso et al. (2002)
<i>Pepsina</i> ( <i>mucosa estómago porcino</i> )	Tampón (pH=2,1)	<sup>b</sup> 41,8 kV/cm, 126 μs	83,8	Yang et al. (2004a)
<i>Lisozima</i> ( <i>clara huevo</i> )	Tampón (pH=6,5)	<sup>b</sup> 38,2 kV/cm, 126 μs	0	Yang et al. (2004a)
<i>α-amilasa</i> ( <i>B. licheniformis</i> )	Agua desionizada	<sup>a</sup> 80 kV/cm, 60 μs, 20 °C	90	Ho et al. (1997)
<i>Glucosaoxidasa</i> ( <i>A. Niger</i> )	Tampón (pH=5,1)	<sup>a</sup> 63 kV/cm, 60 μs, 20 °C	75	Ho et al. (1997)
<i>Papaína</i> ( <i>papaya</i> )	1 mM EDTA	<sup>b</sup> 50 kV/cm, 2000 μs, 35 °C	90 <sup>e</sup>	Yeom et al. (1999)
<i>Lactato deshidrogenasa</i> ( <i>corazón vacuno</i> )	Tampón (pH=7,2)	<sup>a</sup> 31,6 kV/cm, 192 μs, 30 °C	0	Barsotti et al. (2002)
<i>Quimotripsina</i>	Tampón (pH=2,9)	<sup>b</sup> 34,2 kV/cm, 126 μs	4	Yang et al. (2004a)

\* Intensidad de campo eléctrico, tiempo de tratamiento, temperatura de tratamiento

<sup>a</sup> Procesado por lotes

<sup>b</sup> Procesado en continuo

<sup>c</sup> SMUF: solución modelo de leche

<sup>d</sup> Depende de la frecuencia de tratamiento

<sup>e</sup> Después de 24 h almacenado a 4 °C

Tabla 3 - Efecto de los tratamientos PEAIC sobre enzimas.

### 3.2.2. Inactivación de enzimas mediante PEAIC

Los factores que afectan a la actividad enzimática pueden agruparse en la naturaleza del enzima, el medio en que se encuentra y los parámetros de procesado por PEAIC. Entre estos últimos, los de mayor influencia en la actividad enzimática son la intensidad de campo eléctrico, el tiempo de tratamiento, la forma y anchura de los pulsos, su frecuencia, la temperatura y el modo de procesado (Vega-Mercado et al., 1995; Giner et al., 2000, 2001; Bendicho et al., 2002c, 2003a; Yeom et al., 2002; Min et al., 2003b; Elez-Martínez et al., 2006a 2007a).

La efectividad del procesado mediante PEAIC en la disminución de la actividad enzimática aumenta cuando lo hacen la intensidad del campo eléctrico y el

tiempo de tratamiento (Vega-Mercado et al., 1995; Ho et al., 1997; Yeom et al., 1999, 2002; Giner et al., 2000, 2002, 2005a; Bendicho et al., 2002c, 2003b; 2002; Min et al., 2003b; Elez-Martínez et al. 2006a, 2007a).

El resto de los parámetros mencionados también influyen significativamente aunque su impacto sobre la actividad enzimática es menor. Así, la anchura de los pulsos actúa de un modo similar a las anteriores variables tanto en enzimas vegetales naturales (Giner et al., 2000, 2001, 2002; Elez-Martínez et al., 2005b, 2006a) como en mezclas enzimáticas comerciales (Espachs-Barroso et al., 2003b; Giner et al., 2003) o en enzimas bacterianos (Bendicho et al., 2003ab). Otro parámetro importante es la frecuencia de pulsación, ya que los niveles de inactivación enzimática son mayores cuanto mayor es la frecuencia de pulsación aplicada a PME, PG, PPO, POD, lipasa y proteasa (Bendicho et al., 2002c, 2003ab; Elez-Martínez et al., 2006a, 2007a; Giner et al., 2002, 2003).

La densidad de energía eléctrica es un parámetro que incluye la intensidad del campo eléctrico y el tiempo de tratamiento y es útil para comparar la efectividad de los tratamientos mediante PEAC con diferentes condiciones eléctricas e, incluso, los tratamientos realizados con diferentes equipos de procesamiento (Martín-Belloso y Elez-Martínez, 2005). Numerosos investigadores han observado que la actividad enzimática se reduce cuando la energía eléctrica aplicada aumenta (Grahl and Märkl, 1996; Giner et al., 2000, 2001, 2002, 2003, 2005ab; Bendicho et al., 2002c, 2003ab, 2005; Elez-Martínez et al., 2006a, 2007a) (Figura 6).

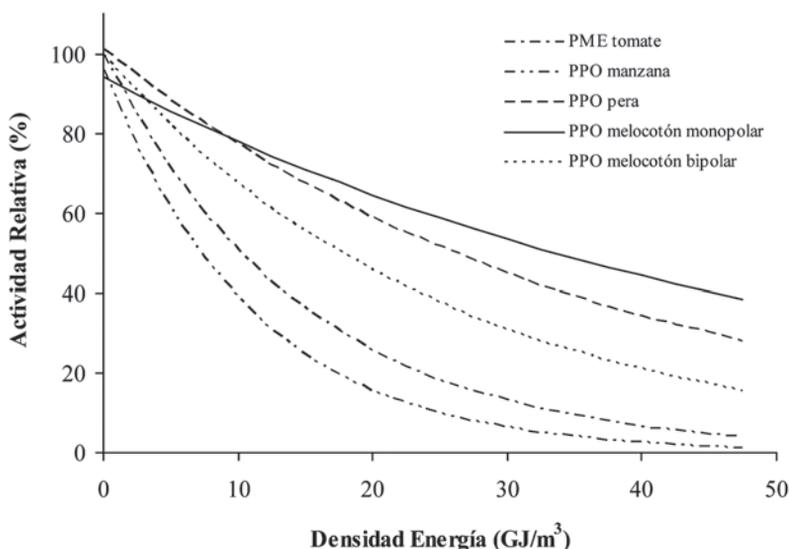


Figura 6.- Efecto de la densidad de energía eléctrica aplicada mediante PEAC en la inactivación enzimática (Espachs-Barroso et al., 2003a).

El hecho de que los PEaIC aplicados sean monopolares o bipolares es un factor importante aunque los resultados obtenidos no definen un patrón común siendo su efecto característico en cada enzima y producto tratado. Los pulsos eléctricos aplicados en forma bipolar dieron lugar a mayores niveles de inactivación de la PPO y la PME que los aplicados en modo monopolar (Giner et al., 2002; Elez-Martínez et al., 2007a), mientras que los pulsos eléctricos monopolares fueron más efectivos para la inactivación de la POD en zumo de naranja y para la inactivación de una solución acuosa de pectinasas comerciales (Elez-Martínez et al., 2007a, Espachs-Barroso et al., 2003b). Sin embargo, Giner et al. (2000) no observaron efecto alguno de la polaridad sobre la inactivación de PME de tomate.

Hasta hace poco tiempo, la tecnología PEaIC solo permitía el uso de pulsos de forma exponencial y el procesado por lotes de los productos a tratar. Una vez superadas estas limitaciones, se ha comprobado que estos parámetros afectan de distintas formas a cada enzima. Los pulsos con forma cuadrada, gracias a mantener durante más tiempo el valor máximo de campo eléctrico, tienen una mayor efectividad en los tratamientos microbianos aunque parece que en PME el comportamiento se invierte (Giner et al., 2000; Yeom et al., 2002). Hasta el momento, en general, el procesado por lotes da lugar a inactivaciones enzimáticas ligeramente mayores que las conseguidas mediante el procesado en continuo (Bendicho et al., 2002c; Yeom et al., 2002; Giner et al., 2000). Además, recientes investigaciones muestran que incluso aplicando la misma cantidad de energía con varios equipos de PEaIC de procesado en continuo se observan diferencias en cuanto a los efectos sobre un mismo enzima (Bendicho et al., 2005).

La temperatura durante el procesado mediante PEaIC juega un papel importante en la inactivación enzimática (Martín-Belloso y Elez-Martínez, 2005) (Tabla 3). La mayoría de los estudios concluyen que la actividad enzimática disminuye al aumentar la temperatura durante el procesado con PEaIC (Vega-Mercado et al., 1995; Van Loey et al., 2002; Yeom et al., 2002; Min et al., 2003a; Rodrigo et al., 2003b; Yang et al., 2004ab). Sin embargo, Castro et al. (2001a) no observaron ningún efecto de la temperatura en la inactivación de fosfatasa alcalina.

El tipo de enzima, su origen y su concentración tienen efecto sobre los niveles de inactivación obtenidos mediante la aplicación de PEaIC (Tabla 3). La sensibilidad de los enzimas a los PEaIC varía en función del tipo de enzima (Grahll and Märkl, 1996; Ho et al., 1997; Yang et al., 2004a). Giner et al. (2001) observaron que la PPO de pera era más resistente a los tratamientos con PEaIC que la PPO de manzana. La inactivación enzimática también depende de la concentración de enzima (Castro et al., 2001a). Rodrigo et al. (2003b) informaron que los niveles de inactivación de PME conseguidos fueron mayores cuando la concentración inicial de PME fue menor.

La inactivación enzimática mediante PEaIC también se ve afectada por la conductividad eléctrica y el pH del medio (Van Loey et al., 2002; Yang et al.,

2004ab). La influencia de la composición del medio donde se encuentra el enzima en la efectividad de los PEAIC para inactivar enzimas no está clara. Unos autores han observado que el contenido en grasa y proteína afecta a dicha efectividad, mientras otros no han apreciado efecto alguno (Bendicho et al., 2002b, 2003a; Van Loey et al., 2002; Vega-Mercado et al., 2001a).

### **3.3. Efecto de los PEAIC sobre otros constituyentes y propiedades de los alimentos**

La gran ventaja de esta tecnología de procesado es su capacidad de no alterar las características organolépticas ni nutritivas de los alimentos tratados, o en cualquier caso hacerlo en menor grado que los tratamientos térmicos (Ortega-Rivas et al., 1998; Min y Zhang, 2003; Elez-Martínez et al., 2006b). Sin embargo, es en la actualidad cuando mayores esfuerzos se están realizando en este ámbito puesto que hasta hace poco tiempo predominaba primaba garantizar la seguridad (microorganismos) y estabilidad del producto (enzimas).

Se han llevado a cabo varias experiencias en alimentos líquidos o semilíquidos. Los primeros resultados se han obtenido en productos lácteos y zumos de fruta habiéndose estudiado principalmente el contenido y evolución de varias propiedades fisicoquímicas como el contenido en azúcares, el pH, la acidez o el pardeamiento; los nutrientes, como proteínas y algunos componentes que caracterizan los alimentos como aromas, colorantes (carotenos) o capacidad antioxidante y vitaminas (Ortega-Rivas et al., 1998; Jeantet et al, 1999; Yeom et al, 2000b; Evrendilek et al., 2000; Barsotti et al, 2002; Bendicho et al., 2002c; Torregrosa et al., 2005; Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2007b).

#### *3.3.1. Efecto de los PEAIC sobre las vitaminas*

En cuanto al contenido en vitaminas, la más estudiada en zumos de fruta ha sido la vitamina C ya que es uno de los componentes más termosensibles. En zumo de naranja el tratamiento mediante PEAIC provoca una disminución del 4-12% en su contenido, dependiendo de los estudios, mientras que los habituales tratamientos de pasteurización la destruyen hasta en un 19% (Qiu et al., 1998; Min et al., 2003c; Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2006) (Figura 7). Las diferencias en el contenido de vitamina C de zumo de manzana procesado por PEAIC y el zumo fresco fueron mínimas (Evrendilek et al., 2000). Después de un tratamiento térmico, el contenido en vitamina C de un zumo de tomate disminuyó un 10%, pero no decreció significativamente después de un procesado mediante PEAIC (Min et al., 2003b). Elez-Martínez y Martín-Belloso (2006) observaron unas pérdidas de vitamina C del 15,7% cuando procesaron gazpacho mediante PEAIC y las pérdidas de vitamina fueron del 20,8% cuando el gazpacho se sometió a un tratamiento térmico de pasteurización (Figura 7).

En otros alimentos como la leche también se ha investigado el contenido vitamínico después de recibir tratamientos por PEAIC. No se observó ningún cambio en las vitaminas liposolubles estudiadas (colecalfiferol y tocoferol) ni en

riboflavina y tiamina, sólo un descenso en la vitamina C aunque por debajo del nivel producido por los tratamientos térmicos (Bendicho et al., 2002c) confirmando los resultados de otros investigadores (Grahl y Märkl, 1996).

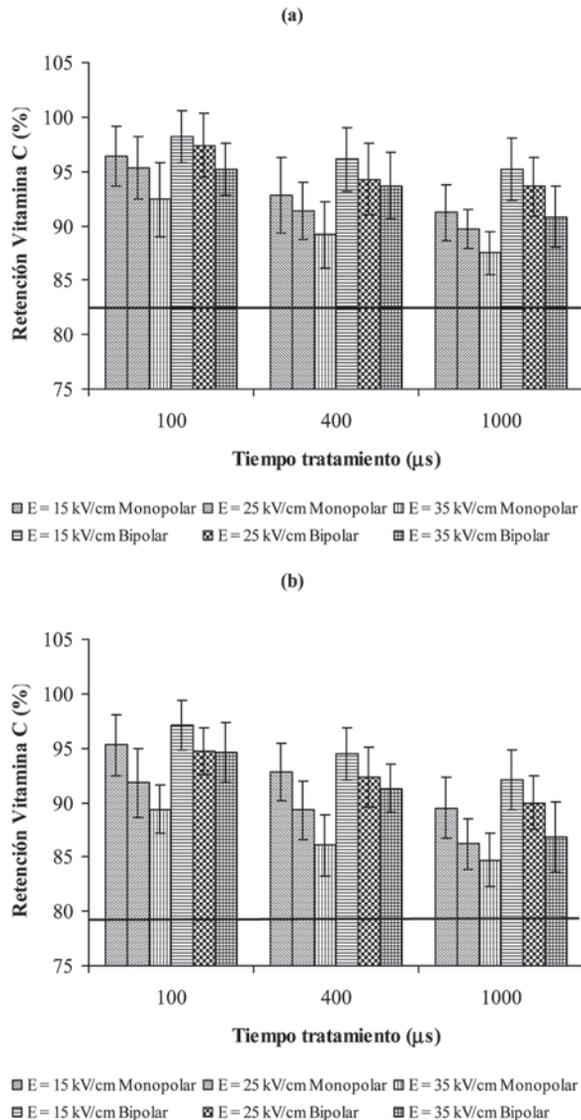


Figura 7.- Efecto de diferentes tratamiento de PEAIC sobre el contenido en vitamina C en zumo de naranja (a) y en gazpacho (b). E, intensidad de campo eléctrico. Tratamiento térmico = 90 °C / 1 minuto (línea horizontal) (Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2007).

### *3.3.2. Efecto de los PEaIC sobre los carotenoides*

El tratamiento mediante PEaIC no modificó el contenido en carotenoides totales o individuales ( $\beta$ -criptoxantina,  $\alpha$ -criptoxantina, zeaxantina, luteína,  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno) de zumo de naranja. Los tratamientos térmicos tradicionales no tuvieron efecto alguno en el contenido total de carotenoides (Sánchez-Moreno et al., 2005). El contenido en carotenoides totales de zumo de naranja y zanahoria procesado por PEaIC fue comparable al del zumo tratado por calor (Torregrosa et al., 2005).

Min et al. (2003b) no encontraron diferencias significativas en la concentración de licopeno de zumo de tomate procesado por calor, PEaIC y el zumo control.

### *3.3.3. Efecto de los PEaIC sobre los polifenoles*

El único estudio existente sobre el efecto de los PEaIC sobre polifenoles es el realizado por Sánchez-Moreno et al. (2005) en el que se estudia el efecto de éstos sobre las flavanonas de zumo de naranja. En este estudio se observó que los PEaIC no modificaron el contenido en naringenina ni hesperitina del zumo de naranja.

### *3.3.4. Efecto de los PEaIC sobre la capacidad antioxidante*

La capacidad antioxidante de zumos de frutas y vegetales como zumo de naranja y gazpacho no se modifica sustancialmente al tratar estos productos con PEaIC. En cualquier caso, la ligera disminución de capacidad antioxidante producida por los PEaIC es menor que la que tiene lugar después de tratar térmicamente estos alimentos (Sánchez-Moreno et al., 2005; Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2007b; Elez-Martínez et al., 2006b) (Tabla 4).

### *3.3.5. Efecto de los PEaIC sobre las proteínas*

El tratamiento de estos productos mediante PEaIC no ha mostrado efectos permanentes en las proteínas estudiadas, contrariamente a lo que ocurre con los tratamientos térmicos por suaves que sean. Jeantet et al (1999) no observaron desnaturalización alguna en huevo ultrafiltrado ni tampoco Barsotti et al. (2002) al analizar los efectos en soluciones de ovoalbúmina y  $\beta$ -lactoglobulina. Fernández-Díaz et al. (2000) comprobaron cierta pérdida de estructura y la ionización de grupos tiol en ovoalbúmina y huevo dializado aunque concluyeron que eran cambios transitorios y reversibles. Solo Pérez y Pilosof (2004) han descrito la formación de agregados de bajo peso molecular al tratar con PEaIC soluciones de ovoalbúmina y  $\beta$ -lactoglobulina.

Los PEaIC no afectaron a la estabilidad ni a la inmunoadtividad de la inmunoglobulina G bovina. Sin embargo, los cambios producidos por un tratamiento térmico fueron irreversibles (Li et al., 2003, 2005).

Polaridad	Intensidad campo eléctrico (kV/cm)	Tiempo tratamiento (µs)	Zumo naranja	Gazpacho
Monopolar	15	100	41.2 ± 2.1de	46.6 ± 2.4bc
		400	37.6 ± 2.7abcd	44.6 ± 2.7bc
		1000	38.1 ± 2.2abcd	43.1 ± 2.9abc
	25	100	37.9 ± 2.6abcd	43.5 ± 2.8abc
		400	38.4 ± 1.7abcde	42.6 ± 3.0abc
		1000	36.3 ± 2.1ab	44.3 ± 2.7bc
	35	100	38.4 ± 2.2abcde	45.2 ± 2.6bc
		400	37.4 ± 2.0abcd	42.1 ± 2.7ab
		1000	37.1 ± 1.9abc	43.5 ± 3.1abc
Bipolar	15	100	38.5 ± 2.2abcde	47.1 ± 2.6c
		400	37.9 ± 2.4abcd	46.2 ± 2.9bc
		1000	37.8 ± 2.9abcd	43.9 ± 2.4abc
	25	100	40.2 ± 2.1cde	46.5 ± 3.0bc
		400	42.1 ± 3.5e	43.4 ± 2.6abc
		1000	39.6 ± 2.4bcde	44.3 ± 3.1bc
	35	100	37.4 ± 2.6abcd	43.2 ± 2.9abc
		400	39.8 ± 2.5bcde	45.9 ± 2.7bc
		1000	37.6 ± 2.2abcd	44.1 ± 3.1abc
Tratamiento térmico (90 °C / 1 min)			35.4 ± 2.0a	39.6 ± 2.9a
No tratado	39.3 ± 1.5bcde		45.7 ± 1.6bc	

<sup>a</sup> Valores Media ± DS

Diferentes letras en la misma columna indicant diferencias significativas (p<0,05)  
Tratamientos de PEAIC a 200 Hz y pulsos eléctricos de 4 µs

Tabla 4 - Efecto de los PEAIC y el tratamiento térmico sobre la capacidad antioxidante (% inhibición DPPH) de zumo de naranja y gazpacho (Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2007).

En el caso de las proteínas del suero lácteo (seroalbúmina, β-lactoglobulina y α-lactoalbúmina), al tratar leche con PEAIC se retuvieron concentraciones similares a las retenidas con un tratamiento térmico (Odriozola-Serrano et al., 2006).

### 3.3.6. Efecto de los PEAIC sobre los aromas

Las pérdidas de compuestos aromáticos en zumo de naranja (butirato de etilo, α-pineno, mirceno, octanal, limoneno, decanal) procesado por PEAIC son menores que las que originan los tratamientos térmicos tradicionales (Jia et al., 1999; Yeom et al., 2000b; Min et al., 2003c).

El tratamiento de zumo de tomate con PEAIC produjo zumo de tomate con mayor retención de compuestos aromáticos (trans-2-hexenal, 2-isobutiltiazol, cis-3-hexanol) que el zumo procesado térmicamente (Min y Zhang, 2003).

### *3.3.7. Efecto de los PEAIC sobre las propiedades físico-químicas*

El procesado de zumo de naranja mediante PEAIC no causa cambios negativos de color en el zumo (Yeom et al., 2000b; Ayhan et al., 2002; Min et al., 2003c; Elez-Martínez et al., 2006b). En el caso de zumo de manzana, Ortega-Rivas et al. (1998) observaron un ligero pardeamiento después del tratamiento, mientras que Evrendilek et al. (2000) constataron que el procesado mediante PEAIC no alteró el color natural del zumo de manzana. El color de zumo de tomate se vio ligeramente modificado después de procesar el zumo mediante PEAIC (Min y Zhang, 2003).

En zumo de manzana, de naranja y de tomate no se ven modificados los valores de pH, acidez y sólidos solubles después del tratamiento con PEAIC (Ortega-Rivas et al., 1998; Yeom et al., 2000b; Min et al., 2003b; Elez-Martínez et al., 2006b). El pH y la acidez de leche procesada mediante PEAIC tampoco se modifican (Odriozola-Serrano et al., 2006).

La viscosidad de zumo de tomate no cambió significativamente después del procesado mediante PEAIC (Min et al., 2003b).

### *3.3.8. Efecto de los PEAIC sobre las características sensoriales*

También se han realizado comparaciones mediante técnicas de análisis sensorial entre alimentos no procesados y los procesados térmicamente y por PEAIC. En los primeros ensayos ya se obtuvieron diferencias significativas comparando el sabor y apariencia de diversos alimentos (zumo de manzana fresco y de concentrado, leche, huevo y sopa de guisantes) procesados mediante PEAIC y sin tratar (Qin et al., 1995b).

Se han realizado estudios sensoriales evaluando el color, apariencia, textura, flavor y la aceptabilidad general de zumos de naranja, manzana y tomate procesados térmicamente y por PEAIC. Los resultados de estas evaluaciones sensoriales demostraron que los zumos procesados mediante PEAIC tuvieron mayores atributos sensoriales que los procesados térmicamente y, por tanto, el consumidor prefirió los alimentos tratados por PEAIC a los tratados por calor (Evrendilek et al., 2000; Min y Zhang, 2003; Min et al., 2003bc).

## **4. VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO DE ALIMENTOS PROCESADOS MEDIANTE PEAIC**

### **4.1. Estabilidad microbiológica**

Se ha estudiado la vida útil de distintos productos como zumo de manzana, leche cruda desnatada, huevo líquido y sopa de guisante tratados a diferentes condiciones de procesado mediante PEAIC y conservadas a diferentes temperaturas de almacenamiento (Qin et al., 1995b). La vida útil de los alimentos

refrigerados procesados mediante PEAC varió desde 10 días para sopa de guisante a 21 días para zumo de manzana.

El efecto de los PEAC en la vida útil de zumo de naranja ha sido motivo de muchos estudios por tratarse de uno de los zumos más populares. Se ha observado que un tratamiento de PEAC de 480  $\mu\text{s}$  a 30 kV/cm fue efectivo en la reducción de los recuentos totales en zumo de naranja y, en consecuencia, en la extensión de su vida útil (Jia et al., 1999). Un tratamiento de 35 kV/cm y 59  $\mu\text{s}$  al igual que una pasteurización térmica a 94.6 °C durante 30 segundos mantuvieron a 4, 22 y 37 °C durante 112 días el número de microorganismos en el zumo de naranja a 1 log ufc/ml (Yeom et al., 2000ab; Ayhan et al., 2002). Min et al. (2003c) estudiaron la vida útil de zumo de naranja procesado con un equipo de pulsos eléctricos de escala comercial. Después del procesado con PEAC (40 kV/cm, 97  $\mu\text{s}$ ), los recuentos de aerobios totales y de mohos y levaduras estuvieron siempre por debajo de 10 ufc/ml y se mantuvieron durante 112 días a 4 °C. Elez-Martínez et al. (2006b) observaron que un tratamiento de 35 kV/cm y 1000  $\mu\text{s}$  aseguró la seguridad del zumo de naranja durante al menos 56 días en combinación con almacenamiento en refrigeración (4 °C).

Cuando se trató zumo de manzana con 250  $\mu\text{s}$  a 36 kV/cm se consiguió una vida útil de más de 3 semanas tanto a 4 °C como a 25 °C (Qin et al., 1995b). La vida útil de zumo de manzana reconstituido procesado a 35 kV/cm y 94  $\mu\text{s}$  fue superior a los 67 días almacenándolo a 4 °C (Evrendilek et al., 2000). La vida útil de sidra tratada a 35 kV/cm durante 94  $\mu\text{s}$  seguido de un tratamiento térmico de 60 °C durante 30 s fue superior a 67 días a 4 °C (Evrendilek et al., 2000).

Min et al. (2003b) estudiaron la vida útil de zumo de tomate comparando el tratamiento térmico con el procesado mediante PEAC. El zumo de tomate se procesó térmicamente a 92 °C durante 90 s o por PEAC a 40 kV/cm durante 57  $\mu\text{s}$  y se almacenó a 4 °C. Las dos tecnologías de procesado proporcionaron una vida útil de 112 días que fue el tiempo durante el que se realizó el recuento de aerobios totales y de mohos y levaduras.

La vida útil de leche cruda desnatada almacenada a 4-6 °C fue de alrededor de 14 días cuando la leche se procesó con PEAC a 40 kV/cm durante 40  $\mu\text{s}$  (Qin et al., 1995b). Odriozola-Serrano et al. (2006) consiguieron asegurar la estabilidad microbiológica de leche entera cruda durante 5 días en refrigeración después de procesarla a 35,5 kV/cm durante 1000  $\mu\text{s}$ . Fernández-Molina et al. (2000) aumentaron la vida útil de leche tratada con PEAC hasta 30 días (almacenamiento refrigerado) aplicando un tratamiento térmico suave (73°C, 6 s) antes del procesado por PEAC (50 kV/cm, 60  $\mu\text{s}$ ).

Hermawan et al. (2004) observaron un incremento de la vida útil de huevo entero líquido procesado mediante PEAC comparado con las muestras control.

## 4.2. Estabilidad enzimática

Por otra parte, se ha comprobado que los efectos sobre la mayoría de los enzimas son al menos tan irreversibles como los provocados por los tratamientos térmicos. Yeom et al. (2000b) estudiaron los efectos del tratamiento mediante PEAIC sobre PME de zumo de naranja comparándolos con los efectos del tradicional pasterizado. Los análisis después de los tratamientos mostraron respectivamente un 88% y 98% de reducción de la actividad enzimática. El zumo tratado y conservado a 4 y 22°C analizado al cabo de 112 días no mostró incremento alguno en la actividad PME. Elez-Martínez et al. (2006b) no observaron activación alguna de PME ni de POD en zumo de naranja almacenado a 4 y 22 °C durante 56 días después de procesarlo con PEAIC.

Se han llevado a cabo investigaciones similares en zumo de tomate comprobando la actividad lipoxigenasa (LOX) (Min et al., 2003b). En ellos se obtiene un 46% de actividad residual después del procesado mediante PEAIC que no aumenta en los análisis realizados sobre la muestra tratada y conservada a 4°C a los 112 días.

## 4.3. Estabilidad físico-química y sensorial

En el caso de los zumos de naranja, manzana y de tomate, a lo largo del periodo de almacenamiento se producen cambios en sus propiedades físico-químicas y sensoriales (color, pH, acidez, °Brix, viscosidad, aromas), pero estos cambios son menores que los que se producen durante el almacenamiento de los alimentos procesados por calor (Evrendilek et al., 2000; Yeom et al., 2000b; Min y Zhang, 2003; Min et al., 2003bc; Elez-Martínez et al., 2006b).

Sepúlveda et al. (2005) observaron que la acidez de leche procesada con PEAIC no superó los límites de detección sensorial durante el almacenamiento en refrigeración (4 °C) y tampoco observaron cambios sensoriales significativos.

Hermawan et al. (2004) no observaron cambios en la viscosidad, la conductividad eléctrica, el color, el pH ni los °Brix durante el almacenamiento de huevo líquido entero a 4 °C.

## 4.4. Estabilidad nutricional

Durante el periodo de almacenamiento en refrigeración o a temperatura ambiente, los zumos de naranja, manzana y tomate procesados mediante PEAIC pierden vitamina C pero éstas pérdidas son menores que las que tienen lugar en los zumos sin procesar o los tratados por calor (Evrendilek et al., 2000; Yeom et al., 2000b; Min et al., 2003bc; Elez-Martínez et al., 2006b). Lo mismo sucede con la concentración de licopeno en zumo de tomate (Min et al., 2003b).

En términos de capacidad antioxidante, ésta disminuye suavemente durante el almacenamiento de zumo de naranja procesado mediante PEAIC pero no se

apreciaron diferencias con la capacidad antioxidante del zumo de naranja sin procesar (Plaza et al., 2006; Elez-Martínez et al., 2006b).

En leche entera procesada a 35,5 kV/cm durante 1000  $\mu$ s y almacenada a 4 °C no se observó proteólisis ni lipólisis durante la primera semana de almacenamiento (Odrizola-Serrano et al., 2006).

## 5. CONCLUSIONES

La aplicación de pulsos eléctricos de alta intensidad de campo (PEAIC) para el procesamiento de alimentos es una tecnología prometedora. Este tratamiento puede ser una alternativa a los tratamientos térmicos, ya que puede proporcionar alimentos microbiológicamente seguros y estables, produciendo cambios menos negativos que los provocados por los tratamientos térmicos en las características sensoriales, organolépticas y nutricionales de los alimentos.

Con las investigaciones realizadas hasta el momento, se prevee que la tecnología de PEAIC pueda incorporarse en la industria alimentaria como forma de conservación por sí misma o formando parte de un sistema combinado de métodos de conservación. Pero hay que continuar investigando con la finalidad de ampliar los conocimientos sobre los efectos de los PEAIC sobre otros alimentos, como los derivados del pescado, y sus componentes, evidenciando así, su universalidad y la validez de la aplicación de los PEAIC para la conservación de alimentos. Además, para poder implantar con éxito esta tecnología en la industria hay que diseñar equipos de procesamiento con ratios elevados de producción y con una efectividad alta en el tratamiento. Por último, también es necesario realizar una evaluación fiable de los costes económicos de su implantación a escala industrial.

## REFERENCIAS

Abram, F.; Smelt, J. P. P. M.; Bos, R.; Wouters, P. C. 2003. Modelling and optimization of inactivation of *Lactobacillus plantarum* by pulsed electric field treatment. *Journal of Applied Microbiology*, 94: 571-579.

Álvarez, I.; Raso, J.; Palop, A.; Sala, F. 2000. Influence of different factors on the inactivation of *Salmonella senftenberg* by pulsed electric fields. *International Journal of Food Microbiology*, 55: 143-146.

Álvarez, I.; Virto, R.; Raso, J.; Condón, S. 2003a. Comparing predicting models for the *Escherichia coli* inactivation by pulsed electric fields. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4: 195-202.

Álvarez, I.; Mañas, P.; Condón, S.; Raso, J. 2003b. Resistance variation of *Salmonella enterica* serovars to pulsed electric fields treatments. *Journal of Food Science*, 68 (7): 2316-2320.

Arántegui, J.; Rosell, J. R.; Purroy, P.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Martín, O. 1999. Electrical properties of peach juice and milk. *European Conference of Emerging Food Science and Technology*. Tampere, Finland.

Arántegui, J.; Marín, E.; Rosell, J. R.; Martín, O. 2000. A mathematical model for the inactivation of *Lactobacillus brevis* by pulsed electric field. *Proceedings of the 3rd. International Conference on Predictive Modelling in Foods*, Book of abstracts, 104-106. Leuven, Belgium.

Aronsson, K.; Lindgren, M.; Johansson, B. R.; Rönner, U. 2001. Inactivation of microorganisms using pulsed electric fields: the influence of process parameters on *Escherichia coli*, *Listeria innocua*, *Leuconostoc mesenteroides* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2: 41-54.

Aronsson, K.; Rönner, U. 2001. Influence of pH, water activity and temperature on the inactivation of *Escherichia coli* and *Saccharomyces cerevisiae* by pulsed electric fields. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2: 105-112.

Ayhan, Z.; Zhang, Q. H.; Min, D. B. 2002. Effects of pulsed electric field processing and storage on the quality and stability of single-strength orange juice. *Journal of Food Protection*, 65 (10): 1623-1627.

Barbosa-Cánovas, G.V.; Pothakamury, U.R.; Palou, E.; Swanson, B.G. 1998. Biological effects and applications of pulsed electric fields for the preservation of foods. En: *Nonthermal preservation of foods*. Marcel Dekker. New York, USA. pp. 73-112.

Barsotti, L.; Cheftel, J.C. 1999. Food processing by pulsed electric fields. II. Biological aspects. *Food Reviews International*, 15 (2): 181-213.

Barsotti, L.; Dumay, E.; Mu, T. H.; Fernandez Diaz, M. D.; Cheftel, J. C. 2002. Effects of high voltage electric pulses on protein-based food constituents and structures. *Trends Food Science and Technology*, 12: 136-144.

Bendicho, S.; Martí, G.; Fernández-Molina, J. J.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Martín, O. 2001. Effect of high intensity pulsed electric fields on a protease from *Bacillus subtilis*. *Institute of Food Technologists Annual Meeting*. Extended abstracts, 59H-16. New Orleans, Louisiana, USA.

Bendicho, S.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Martín, O. 2002a. Milk processing by high intensity pulsed electric fields. *Trends in Food Science and Technology*, 13: 195-204.

Bendicho, S.; Estela, C.; Giner, J.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Martín, O. 2002b. Effect of high intensity pulsed electric field and thermal treatments on a lipase from *Pseudomonas fluorescens*. *Journal of Dairy Science*, 85: 19-27.

Bendicho, S.; Espachs, A.; Arántegui, J.; Martín, O. 2002c. Effect of high intensity pulsed electric fields and heat treatments on vitamins of milk. *Journal of Dairy Research*, 69:113-123.

Bendicho, S.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Martín, O. 2003a. Reduction of protease activity in milk by continuous flow high-intensity pulsed electric field treatments. *Journal of Dairy Science*, 86: 697-703.

Bendicho, S.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Martín, O. 2003b. Reduction of protease activity in simulated milk ultrafiltrate by continuous flow high intensity pulsed electric field treatments. *Journal of Food Science*, 68 (3): 952-957.

Bendicho, S.; Marsellés-Fontanet, R.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Martín-Belloso, O. 2005. High intensity pulsed electric fields and heat treatments applied to a protease from *Bacillus subtilis*. A comparison study of multiple systems. *Journal of Food Engineering*, 69: 317-323.

Bushnell, A. H.; Dunn, J. E.; Clark, R. W.; Pearlman, J. S. 1993. High pulsed voltage systems for extending the shelf life of pumpable food products. U.S. Patent nº 5,235,905.

Calderón-Miranda, M. L.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1999a. Inactivation of *Listeria innocua* in liquid whole egg by pulsed electric fields and nisin. *International Journal of Food Microbiology*, 51: 7-17.

Calderón-Miranda, M. L.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1999b. Inactivation of *Listeria innocua* in skim milk by pulsed electric fields and nisin. *International Journal of Food Microbiology*, 51: 19-30.

Castro, A. J.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1993. Microbial inactivation of foods by pulsed electric fields. *Journal of Food Processing and Preservation*, 17: 47-73.

Castro, A.J.; Swanson B.G.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Zhang, Q.H. 2001a. Pulsed electric field modification of milk alkaline phosphatase activity. En: Barbosa-Cánovas, G.V.; Zhang, Q.H. (Eds.). *Pulsed Electric Fields in Food Processing. Fundamental aspects and applications*. Technomic Publishing Company Inc. Lancaster, USA. pp. 65-82.

Castro, A. J.; Swanson, B. G.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Dunker, A. K. 2001b. Pulsed electric field denaturation of bovine alkaline phosphatase. En: Barbosa-Cánovas, G.V.; Zhang, Q.H. (Eds.). *Pulsed Electric Fields in Food Processing. Fundamental aspects and applications*. Technomic Publishing Company Inc. Lancaster, USA. pp. 83-103.

Cserhalmi, Z.; Vidács, I.; Beczner, J.; Czukor, B. 2002. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus cereus* by pulsed electric fields technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3: 41-45.

Dunn, J. E.; Pearlman, J. S. 1987. Methods and apparatus for extending the shelf-life of fluid food products, US Patent nº 4,695,472.

Dutruieux, N.; Notermans, S.; Wijtzes, T.; Góngora-Nieto, M. M.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 2000. Pulsed electric fields inactivation of attached and free-living *Escherichia coli* and *Listeria innocua* under several conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 54: 91-98.

Elez-Martínez, P.; Escolà-Hernández, J.; Soliva-Fortuny, R.C.; Martín-Belloso, O. 2004. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* suspended in orange juice using high-intensity pulsed electric fields. *Journal of Food Protection*, 67 (11): 2596-2602.

Elez-Martínez, P.; Escolà-Hernández, J.; Soliva-Fortuny, R.C.; Martín-Belloso, O. 2005. Inactivation of *Lactobacillus brevis* in orange juice by high-intensity pulsed electric fields. *Food Microbiology*, 22 (4): 311-319.

Elez-Martínez, P.; Aguiló-Aguayo, I.; Martín-Belloso, O. 2006a. Inactivation of orange juice peroxidase by high-intensity pulsed electric fields as influenced by process parameters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86 (1): 71-81.

Elez-Martínez, P.; Soliva-Fortuny, R.C.; Martín-Belloso, O. 2006b. Comparative study on shelf life of orange juice processed by high intensity pulsed electric fields or heat treatment. *European Food Research and Technology*, 222 (3-4): 321-329.

Elez-Martínez, P.; Suárez-Recio, M.; Martín-Belloso, O. 2007a. Modeling the reduction of pectin methyl esterase activity in orange juice by high intensity pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*. 78(1): 184-193.

Elez-Martínez, P.; Martín-Belloso, O. 2007b. Effect of high intensity pulsed electric field processing conditions on vitamin C and antioxidant capacity of orange juice and *gazpacho*, a cold vegetable soup. *Food Chemistry*, 102(1): 201-209.

Espachs-Barroso, A.; Bendicho, S.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Martín-Belloso, O. 2002. Inactivation of a commercial pectic enzyme by high intensity pulsed electric fields. *Emerging Technologies for the Food Industry*. Abstract book, 2.07, p. 75. Madrid, Spain.

Espachs-Barroso, A.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Martín-Belloso, O. 2003a. Microbial and enzymatic changes in fruit juice induced by high-intensity pulsed electric fields. *Food Reviews International*, 19 (3): 253-273.

Espachs-Barroso, A.; Elez-Martínez, P.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Martín-Belloso, O. 2003b. Effect of pulse width, frequency and polarity of high intensity pulsed electric fields in a commercial pectic enzyme complex. *Institute of Food Technologists Annual Meeting*, Extended abstracts, 92C-37. Chicago, USA.

Evrendilek, G.; Zhang, Q. H.; Richter, E. 1999. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Escherichia coli* 8739 in apple juice by pulsed electric fields. *Journal of Food Protection*, 62 (7): 793-796.

Evrendilek, G.; Jin, Z. T.; Ruhlman, K. T.; Qiu, X.; Zhang, Q. H.; Richter, E. R. 2000. Microbial safety and shelf-life of apple juice and cider processed by bench and pilot scale PEF systems. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1: 77-86.

Fernandez-Diaz, M.D.; Barsotti, L.; Dumay, E.; Cheftel, J.C. 2000. Effects of pulsed electric fields on ovalbumin solutions and dialyzed egg white. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2332-2339.

Fernández-Molina, J. J.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 2000. Pasteurization of skim milk with heat and pulsed electric fields. *Institute of Food Technologists Annual Meeting*. Dallas, USA.

Gásková, D.; Sigler, K.; Janderová, B.; Plásek, J. 1996. Effect of high-voltage electric pulses on yeast cells: factors influencing the killing efficiency. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 39: 195-202.

Giner, J.; Gimeno, V.; Espachs, A.; Elez, P.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Martín, O. 2000. Inhibition of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pectin methylesterase by pulsed electric fields. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1: 57-67.

Giner, J.; Gimeno, V.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Martín, O. 2001. Effects of pulsed electric field processing on apple and pear polyphenoloxidases. *Food Science and Technology International*, 7 (4): 339-345.

Giner, J.; Gimeno, V.; Ortega, M.; Mesegué, M.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Martín, O. 2002. Inactivation of peach polyphenoloxidase by exposure to pulsed electric fields. *Journal of Food Science*, 67 (4): 1467-1472.

Giner, J.; Gimeno, V.; Palomes, M.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Martín, O. 2003. Lessening polygalacturonase activity in a commercial enzyme preparation by exposure to pulsed electric fields. *European Food Research and Technology*, 217: 43-48.

Giner, J.; Grouberman, P.; Gimeno, V.; Martín, O. 2005. Reduction of pectinesterase activity in a commercial enzyme preparation by pulsed electric fields: comparison of inactivation kinetic models. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85: 1613-1621.

Grahl, T.; Sitzmann, W.; Märkl, J. 1992. Killing of microorganisms in fluid media by high-voltage pulses. En: Kreysa, G.; Drisel, X. (Eds.). *10th Dechema Biotechnology Conference Series, 5B*, 675-678, Verlagsgesellschaft, Hamburg Germany.

Grahl, T.; Märkl, H. 1996. Killing of microorganisms by pulsed electric fields. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 45: 148-157.

Hamilton, W. A.; Sale, A. J. H. 1967. Effect of high electric fields on microorganisms. II. Mechanism of action of the lettal effect. *Biochimica and Biophysica Acta*, 148: 789-800.

Harrison, S. L.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1997. *Saccharomyces cerevisiae* structural changes induced by pulsed electric field treatment. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 30: 236-240.

Hermawan N, Evrendilek G A, Dantzer W R, Zhang Q H, Richter E R (2004), Pulsed electric field treatment of liquid whole egg inoculated with *Salmonella enteritidis*. *Journal of Food Safety*, 24: 71-85.

Ho, S. Y.; Mittal, G. S.; Cross, J. D.; Griffiths, M. W. 1995. Inactivation of *Pseudomonas fluorescens* by high voltage electric pulses. *Journal of Food Science*, 60 (6): 1337-1340.

Ho, S. Y.; Mittal, G. S.; Cross, J. D. 1997. Effects of high electric pulses on the activity of selected enzymes. *Journal of Food Engineering*, 31: 69-84.

Hofmann, G.A. 1989. Cells in electric fields. Physical and practical electronic aspects of electro cell fusion and electroporation. En: Neumann, E.; Sowers, A.E.; Jordan, C.A. (Eds.). *Electroporation and Electrofusion in Cell Biology*. Plenum Press. New York and London. pp. 389-407.

Hülsheger, H.; Potel, J.; Niemann, E. G. 1981. Killing of bacteria with electric pulses of high field strength. *Radiation and Environmental Biophysics*, 20: 53-65.

Hülsheger, H.; Potel, J.; Niemann, E.G. 1983. Electric field effects on bacteria and yeast cells. *Radiation and Environmental Biophysics*, 22: 149-162.

Jayaram, S.; Castle, G. S. P.; Margatiris, A. 1992. Kinetics of sterilization of *Lactobacillus brevis* cells by the application of high voltage pulses. *Biotechnology and Bioengineering*, 40: 1412-1420.

Jeanet, R.; Baron, F.; Nau, F.; Roignant, M.; Brulé, G. 1999. High intensity pulsed electric fields applied to egg white: effect on *Salmonella enteritidis* inactivation and protein denaturation. *Journal of Food Protection*, 62 (12): 1381-1386.

Jia, M.; Zhang, Q. H.; Min, D. B. 1999. Pulsed electric field processing effects on flavor compounds and microorganisms of orange juice. *Food Chemistry*, 65: 445-451.

Keith, W. D.; Harris, L. J.; Hudson, L.; Griffiths, M. W. 1997. Pulsed electric fields as a processing alternative for microbial reduction in spice. *Food Research International*, 30: 185-191.

Keith, W. D.; Harris, L. J.; Griffiths, M. W. 1998. Reduction of bacterial levels in flour by pulsed electric fields. *Journal of Food Process Engineering*, 21: 263-269.

Lewis, M. J. 1993. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Li, S.Q.; Zhang, Q.H.; Lee, Y.Z.; Pham, T.V. 2003. Effects of pulsed electric fields and thermal processing on the stability of bovine immunoglobulin G (IgG) in enriched soymilk. *Journal of Food Science*, 68 (4): 1201-1207.

Li, S.Q.; Bomser, J.A.; Zhang, Q.H. 2005. Effects of pulsed electric fields and heat treatment on stability and secondary structure of bovine immunoglobulin G. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 663-670.

Liu, X.; Yousef, A. E.; Chism, G. W. 1997. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 by the combination of organic acids and pulsed electric fields. *Journal of Food Safety*, 16: 287-299.

Lubicki, P.; Jarayam, S. 1997. High voltage pulse application for the destruction of the Gram-positive bacterium *Yersinia enterocolitica*. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 43: 135-141.

Mañas, P.; Barsotti, L.; Cheftel, J. C. 2001. Microbial inactivation by pulsed electric fields in a batch treatment chamber: effects of some electrical parameters and food constituents. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2: 239-249.

Marquez, V. O.; Mittal, G. S.; Griffiths, M. W. 1997. Destruction and inhibition of bacterial spores by high voltage pulsed electric field. *Journal of Food Science*, 62 (2): 399-401.

Martín, O.; Zhang, Q.; Castro, A. J.; Barbosa-Canovas, G. V.; Swanson, B. G. 1994. Revisión: Empleo de pulsos eléctricos de alto voltaje para la conservación de alimentos. Microbiología e ingeniería del proceso. *Revista Española de Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 1 (34): 1-34.

Martín, O.; Qin, B. L.; Chang, F. J.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1997. Inactivation of *Escherichia coli* in skim milk by high intensity pulsed electric fields. *Journal of Food Process and Engineering*, 20: 317-336.

Martín-Belloso, O.; Vega-Mercado, H.; Qin, B. L.; Chang, F. J.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1997. Inactivation of *Escherichia coli* suspended in liquid egg using pulsed electric fields. *Journal of Food Processing and Preservation*, 21: 193-208.

Martín-Belloso, O.; Bendicho, S.; Elez-Martínez, P.; Barbosa-Cánovas, G.V. 2005. Do high intensity pulsed electric fields induce changes in enzymatic activity, protein conformation and vitamin and flavor stability? En: Barbosa-Cánovas, G.V.; Tapia, M.S.; Cano, M.P. (Eds.). *Novel Food Processing Technologies*. Marcel Dekker/CRC Press. New York, USA. pp. 87-104.

Martín-Belloso, O.; Elez-Martínez, P. 2005a. Enzymatic inactivation by pulsed electric fields. En: Sun, D.W. (Ed.). *Emerging Technologies for Food Processing*. Elsevier. London, UK. pp. 155-181.

Martín-Belloso, O.; Elez-Martínez, P. 2005b. Food safety aspects of pulsed electric fields. En: Sun, D.W. (Ed.). *Emerging Technologies for Food Processing*. Elsevier. London, UK. pp. 183-217.

Matsumoto, Y.; Shioji, N.; Satake, T.; Sakuma, A. 1991. Inactivation of microorganisms by pulsed high voltage application. *IEEE Conf. Rec. Ind. Appl. Soc. Ann.*: 652-659.

Min, S.; Zhang, Q. H. 2003. Effects of commercial-scale pulsed electric field processing on flavor and color of tomato juice. *Journal of Food Science*, 68 (5): 1600-1606.

Min, S.; Min, S. K.; Zhang, Q. H. 2003a. Inactivation kinetics of tomato juice lipoxygenase by pulsed electric fields. *Journal of Food Science*, 68 (6): 1995-2001.

Min, S.; Jin, Z. T.; Zhang, Q. H. 2003b. Commercial scale pulsed electric field

processing of tomato juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 3338-3344.

Min, S.; Jin, Z. T.; Min, S. K.; Yeom, H.; Zhang, Q. H. 2003c. Commercial-scale pulsed electric field processing of orange juice. *Journal of Food Science*, 68 (4): 1265-1271.

Moses, B. D. 1938. Electric pasteurization of milk. *Agricultural Engineering*, December 1938.

Odriozola-Serrano, I.; Bendicho-Porta, S.; Martín-Belloso, O. 2006. Comparative study on shelf life of whole milk processed by high-intensity pulsed electric field or heat treatment. *Journal of Dairy Science*, 89 (3): 905-911.

Ortega-Rivas, E.; Zárata-Rodríguez, E.; Barbosa-Cánovas, G. V. 1998. Apple juice pasteurization using ultrafiltration and pulsed electric fields. *Transactions of the Institute of Chemical Engineering*, 76 (C): 193-198.

Palaniappan, S.; Sastry, S. K. 1991. Electrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids content, applied voltage, and particle size. *Journal of Food Processing and Engineering*, 14: 247-260.

Perez, O. E.; Pilosof, A. M. R. 2004. Pulsed electric fields effects on the molecular structure and gelation of  $\beta$ -lactoglobulin concentrate and egg white. *Food Research International*, 37: 102-110.

Plaza, L.; Sánchez-Moreno, C.; Elez-Martínez, P.; De Ancos, B.; Martín-Belloso, O.; Cano, M.P. 2006. Effect of refrigerated storage on vitamin C and antioxidant activity of orange juice processed by high-pressure or pulsed electric fields with regard to low pasteurization. *European Food Research and Technology*. 223(4): 487-493.

Pothakamury, U. R.; Monsalve-González, A.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1995a. Inactivation of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in model foods by pulsed electric field technology. *Food Research International*, 28 (2): 167-171.

Pothakamury, U. R.; Monsalve-González, A.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1995b High voltaje pulsed electric field inactivation of *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus delbrueckii*. *Revista Española de Ciencia y Tecnología*, 35: 101-107.

Pothakamury, U. R.; Vega, H.; Zhang, Q.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1996. Effect of growth stage and processing temperature on the inactivation of *E. coli* by pulsed electric fields. *Journal of Food Protection*, 59 (11): 1167-1171.

Pothakamury, U. R.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G.; Spence, K. D. 1997. Ultrastructural changes in *Staphylococcus aureus* treated with pulsed electric fields. *Food Science and Technology International*, 3: 113-121.

Qin, B. L.; Zhang, Q.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G.; Pedrow, P. D. 1994. Inactivation of microorganisms by pulsed electric fields of different voltage waveforms. *IEEE Transactions Dielectrics and Electrical Insulation*, 1: 1047-1057.

Qin, B. L.; Zhang, Q.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G.; Pedrow, P. D. 1995a. Pulsed electric field treatment chamber design for liquid food pasteurization using a finite element method. *Transactions of American Society of Agricultural Engineering*, 38: 557-565.

Qin, B. L.; Chang, F. J.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1995b. Non-thermal inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in apple juice using pulsed electric fields. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28: 564-568.

Qin, B. L.; Pothakamury U. R.; Vega, H.; Martín, O.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1995c. Food pasteurization using high-intensity pulsed electric fields. *Food Technology*, 49: 55-60.

Qin, B. L.; Pothakamury, U. R.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1996. Nonthermal pasteurization of liquid foods using high-intensity pulsed electric fields. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36 (6): 603-627.

Qin, B. L.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G.; Pedrow, P. D.; Olsen, R. G. 1998. Inactivating microorganisms using a pulsed electric field continuous treatment system. *IEEE Transactions Industry Applications*, 34 (1): 43-50.

Qiu, X.; Sharma, S.; Tuhela, L.; Jia, M.; Zhang, Q. 1998. An integrated PEIAC pilot plant for continuous nonthermal pasteurization of fresh orange juice. *Agricultural Engineering*, 41: 1069-1074.

Raso, J.; Calderón, M.L.; Góngora, M.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Swanson, B.G. 1998a. Inactivation of *Zygosaccharomyces bailii* in fruit juices by heat, high hydrostatic pressure and pulsed electric fields. *Journal of Food Science*, 63 (6): 1042- 1044.

Raso, J.; Calderón, M.L.; Góngora, M.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Swanson, B.G. 1998b. Inactivation of mold ascospores and conidiospores suspended in fruit juices by pulsed electric fields. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 31: 668-672.

Raso, J.; Alvarez, I.; Condón, S.; Sala, F. J. 2000. Predicting inactivation of *Salmonella senftenberg* by pulsed electric fields. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1: 21-29.

Reina, L. D.; Jin, Z. T.; Zhang, Q. H.; Yousef, A. E. 1998. Inactivation of *Listeria monocytogenes* in milk by pulsed electric field. *Journal of Food Protection*, 61 (9): 1203-1206.

Riley, T.; Watson, A. 1987. Polarography and other voltametric methods. New York: John Wiley and Sons.

Rodrigo, D.; Ruíz, P.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Martínez, A.; Rodrigo, M. 2003a. Kinetic model for the inactivation of *Lactobacillus plantarum* by pulsed electric fields. *International Journal of Food Microbiology*, 81 (3): 223-229.

Rodrigo, D.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Martínez, A.; Rodrigo, M. 2003b. Pectin methyl esterase and natural microflora of fresh mixed orange and carrot juice treated with pulsed electric fields. *Journal of Food Protection*, 66 (12): 2336-2342.

Sale, A. J. H.; Hamilton, W. A. 1967. Effect of high electric fields on microorganisms. I. Killing of bacteria and yeasts. *Biochimica and Biophysica Acta*, 148: 781-788.

Sánchez-Moreno, C.; Plaza, L.; Elez-Martínez, P.; De Ancos, B.; Martín-Belloso, O.; Cano, M.P. 2005. Impact of high-pressure and pulsed electric fields on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice in comparison with traditional thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (11): 4403-4409.

Sensoy, I.; Zhang, Q. H.; Sastry, S. K. 1997. Inactivation kinetics of *Salmonella dublin* by pulsed electric field. *Journal of Food Process Engineering*, 20: 367-381.

Sepulveda, D.R.; Góngora-Nieto, M.M.; Guerrero, J.A.; Barbosa-Canovas, G.V. 2005. Production of extended shelf life milk by processing pasteurized milk with pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*, 67: 81-86.

Shin, H. H.; Pyun, Y. 1999. Cell damage and recovery characteristics of *Lactobacillus plantarum* by high voltage pulsed electric fields treatment. *Food Science and Biotechnology*, 8 (4): 261-266.

Sobrinho, A.; Rosell, J. R.; Bendicho, S.; Sanchis, V.; Martín, O. 2001. Inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* in milk by pulsed electric fields and moderate heating. *NIZO Dairy Conference on Food Microbes*. Book of abstracts, p. 121. Ede, The Netherlands.

Tipler, P. A. 1994. *Física*. Vol II. Barcelona: Editorial Reverté.

Torregrosa, F.; Cortés, C.; Esteve, M.J.; Frígola, A. 2005. Effect of high-intensity pulsed electric fields processing and conventional heat treatment on orange-carrot juice carotenoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 9519-9525.

Tracy, R. L. 1932. Lethal effect of alternating current on yeast cells. *Journal of Bacteriology*, 24 (6): 423-438.

Unal, R.; Yousef, A. E.; Dunne, C. P. 2002. Spectrofluorimetric assessment of bacterial cell membrane damage by pulsed electric field. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3: 247-254.

Van Loey, A.; Verachtert, B.; Hendrickx, M. 2002. Effects of high electric field pulses on enzymes. *Trends in Food Science and Technology*, 12: 94-102.

Vega-Mercado, H.; Powers, J. R.; Barbosa-Canovas, G. V.; Swanson, B. G. 1995. Plasmin inactivation with pulsed electric fields. *Journal of Food Science*, 60: 1143-1146.

Vega-Mercado, H.; Martín-Belloso, O.; Chang, F.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1996a. Inactivation of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* suspended in pea soup using pulsed electric fields. *Journal of Food Processing and Preservation*, 20: 501-510.

Vega-Mercado, H.; Pothakamury, U. R.; Chang, F. J.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1996b. Inactivation of *Escherichia coli* by combining pH, ionic strength and pulsed field hurdles. *Food Research International*, 29: 117-121.

Vega-Mercado, H.; Powers, J. R.; Barbosa-Canovas, G. V.; Luedecke, L.; Swanson, B. G. 2001. Change in susceptibility of proteins to proteolysis and the inactivation of an extracellular protease from *Pseudomonas fluorescens* M3/6 when exposed to pulsed electric fields. En: Barbosa-Cánovas, G. V.; Zhang, Q. H. (Eds.). *Pulsed electric fields in food processing. Fundamental aspects and applications*. Technomic Publishing Co. Lancaster, USA. pp. 105-120.

Wouters, P. C.; Dutrueux, N.; Smelt, J. P. P. M.; Lelieveld, H. L. M. 1999. Effects of pulsed electric fields on inactivation kinetics of *Listeria innocua*. *Applied and Environmental Microbiology*, 65 (12): 5364-5371.

Yang, R.J.; Li, S.Q.; Zhang, Q.H. 2004a. Effects of pulsed electric fields on the activity of enzymes in aqueous solution. *Journal of Food Science*, 69 (4): FCT241-FCT248.

Yang, R.; Li, S.Q.; Zhang, Q.H. 2004b. Effects of pulsed electric fields on the activity and structure of pepsin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (24): 7400-7406.

Yeom, H.; Zhang, Q.; Dunne, C. 1999. Inactivation of papain by pulsed electric fields in a continuous system. *Food Chemistry*, 67: 53-59.

Yeom, H. W.; Streaker, C. B.; Zhang, Q. H.; Min, D. B. 2000a. Effects of pulsed electric fields on the activities of microorganisms and pectin methyl esterase in orange juice. *Journal of Food Science*, 65 (8): 1359-1363.

Yeom, H. W.; Streaker, C. B.; Zhang, Q. H.; Min, D. B. 2000b. Effects of pulsed electric fields on the quality of orange juice and comparison with heat pasteurization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 4597-4605.

Yeom, H. W.; Zhang, Q. H.; Chism, G. W. 2002. Inactivation of pectin methyl esterase in orange juice by pulsed electric fields. *Journal of Food Science*, 67 (6): 2154-2159.

Yin, Y.; Zhang, Q. H.; Sastry, S. K. 1997. High voltage pulsed electric field treatment chambers for the preservation of liquid food products. U.S. Patent nº 5,690,978.

Yonemoto, Y.; Yamashita, T.; Mujari, M.; Tatebe, W.; Ooshima, H.; Kato, J.; Kimura, A.; Murata, K. 1993. Resistance of yeast and bacterial spores to high voltage electric pulses. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 75: 99-102.

Zhang, Q.; Chang, F. J.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1994a. Inactivation of microorganisms in a semisolid model food using high voltage pulsed electric fields. *Lebensmittel Wissenschaft und Technology*, 27 (6): 538-543.

Zhang, Q.; Monsalve-Gonzalez, A.; Qin, B. L.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1994b. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in apple juice by squarewave and exponential-decay pulsed electric fields. *Journal of Food Process Engineering*, 17: 469-478.

Zhang, Q.; Monsalve-González, A.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1994c. Inactivation of *E. coli* and *S. cerevisiae* by pulsed electric fields under controlled temperature conditions. *Transactions of the ASAE*, 37 (2): 581-587.

Zhang, Q.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B.G. 1995a. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *Journal of Food Engineering*, 25: 261-281.

Zhang, Q.; Qin, B. L.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G. 1995b. Inactivation of *Escherichia coli* for food pasteurization by high-strength pulsed electric fields. *Journal of Food Processing and Preservation*, 19: 103-118.

Zhang, Q.; Qin, B. L.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Swanson, B. G.; Pedrow, P. D. 1996. Batch mode food treatment using pulsed electric fields. US Patent nº 5,549,041.

Zhong, K.; Hu, X.; Zhao, G.; Chen, F.; Liao, X. 2005. Inactivation and conformational change of horseradish peroxidase induced by pulsed electric field. *Food Chemistry*, 92: 473-479.

Zimmermann, U.; Vienken, J.; Pilwat, G. 1980. Development of drug carrier systems: electrical field induced effects in cell membranes. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 7: 553-574.

## Capítulo V:

### **LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS Y EL SECTOR PESQUERO ESPAÑOL**

---

**Tomás Calderón**

Dpto. de Química Agrícola-Geología  
Universidad Autónoma de Madrid  
28049 Cantoblanco. Madrid. España.  
Tlfno.: +34-914974820  
e-mail: tomas.calderon@uam.es

#### **RESUMEN**

La irradiación de alimentos pertenecientes al sector pesquero participa de las mismas cualidades y defectos que cualquier otro producto alimenticio, por eso, en este capítulo pasaremos revista primero a la irradiación de alimentos desde una perspectiva general para después, adentrarnos en la irradiación de productos de este importante sector.

#### **1. LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS**

##### **1.1. Introducción y antecedentes históricos**

Como casi todas las denominadas tecnologías emergentes del siglo XXI, la irradiación de alimentos surge hace bastante tiempo, concretamente a finales del siglo XIX – principios del XX. Su historia esta plagada de altibajos que nunca hacían presagiar el éxito que finalmente ha tenido (ampliación de estos temas pueden encontrarse en Calderón 2000;). En la Tabla I se resume parte de esta historia dirigida, esta vez, hacia el sector pesquero.

Año	Evento
1896.- Minck,F	Sugiere el uso de radiaciones ionizantes para destruir microorganismos en alimentos.
1905.- Appleby & Banks	Primera patente británica para la irradiación a partir de Radio, de cereales y derivados.
1947.- Brasch & Huber	Proponen la irradiación de productos alimenticios con electrones acelerados.
1950 -/60	Construcción de plantas específicas de <sup>60</sup> Co con la finalidad de irradiar alimentos. Se inician programas de investigación en este campo en buena parte de Europa.
1960-70.	* La URSS, Inglaterra, Japón Canadá, junto con El Bureau of Comercial Fisheries (BCF) en USA comienzan las investigaciones sobre la irradiación en productos pesqueros.
1980	Comités conjuntos de la FAO, IAEA, y OMS concluye que la irradiación de alimentos hasta 10 kGy no constituye ningún peligro.
1999	La Organización Mundial de la Salud (OMS) asegura la inocuidad de los alimentos irradiados a cualquier dosis.
2000	Brasil autoriza la irradiación de cualquier alimento sin restricción de dosis.
2002	, EEUU, Austria y Nueva Zelanda aprueban la cuarentena por irradiación.
2003	Codees Alimentarius (Naciones Unidas) deroga el limite de 10 kGy, aceptando la inocuidad a cualquier dosis.

\* Food and Drug Administration (FDA, USA)

Tabla 1 - Evolución en la irradiación de alimentos.

Como puede observarse en la Tabla 1, los inicios de la irradiación en el sector pesquero se inician en los años 60 (como casi en todos los sectores de la alimentación), cuando una serie de países\* deciden explorar las posibilidades de esta metodología en este sector específico. A nadie se le oculta que en una primera instancia había fuertes intereses militares por conseguir alimentos esterilizados .

A raíz del descubrimiento de las posibilidades del método , los distintos países que se interesaron por el mismo fueron desarrollando estrategias de acuerdo a sus intereses comerciales y/o en función de posibles intereses sociales (eliminar enfermedades transmitidas por alimentos en la población). La Tabla 2 muestra una pequeña selección de países que irradian productos alimenticios y la fecha de su comienzo. Quizás lo importante de esta tabla es mostrar la gran variedad de productos que son aptos para la irradiación, muchos de ellos pueden resultarnos exóticos.

Pais	Producto que irradia	Fecha de inicio
China	Patatas Cebollas <b>Ajos</b> Cacahuetes Grano Setas <b>Salsa de soja</b> Manzanas	30-11-1984 30-11-1984 30-11-1984 30-11-1984 30-11-1984 30-11-1984 30-11-1984 30-09-1988
Francia	Patatas Cebollas Ajos Especias. Goma arábica Cereales vegetales deshidratados Carne de pollo Frutos secos <b>Ancas de rana congeladas</b> Fresas	08-11-1972 09-08-1977 09-08-1977 10-02-1983  16-06-1985 15-06-1985 15-06-1985 16-02-1985 06-02-1988 03-05-1988
España	Condimentos , especias , alimentos estimulantes y derivados	1-02-2003
Reino Unido	<b>Todas las comidas de pacientes que requieren dietas esterilizadas</b>	01-12-1969
URSS	Patatas <b>Grano</b> Frutos secos Concentrados de comida seca (pudín de arroz) Cebollas	14-03-1958 1959 14-02-1966 06-06-1966 17-07-1973
Estados Unidos de América (U.S.A.)	Trigo Patatas Cerdo Encimas (deshidratadas) Fruta Verduras frescas Hierbas, especias Comida para animales Carnes de ave (frescas, congeladas) Carne de vacuno (congelada) <b>Comida para astronautas</b>	1963 1964 22-07-85 18-04-86 18-04-86 18-04-86 18-04-86 28-09-95 5-02-90  2-12-97 8-03-95

Tabla 2 - Algunos países que irradian alimentos en la actualidad y fecha de inicio.

Se irradian gran variedad de alimentos, a veces para consumo interno y otras solamente con fines de exportación. Hoy en día, puede afirmarse que este método es utilizado en al menos 40 países y que los alimentos irradiados están introducidos en las cadenas comerciales de venta en 30 países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo. Entre los productos alimenticios más frecuentemente irradiados se encuentran las hierbas y especias, frutas, verduras, arroz, patatas, cebollas, salsas y **pescados**.

En relación a los países que irradian concretamente pescado, y en función de los logros que se han ido obteniendo a lo largo del tiempo con las distintas

variedades, la incorporación de países a esta tecnología ha sido constante. Una prueba de ello se muestra en la Tabla 3 donde se muestra una selección de los mismos.

País	Producto	Propósito	Año
Brasil	Pescado y derivados (filetes, ahumados, salados, secos, deshidratados).	Aumento vida comercial, desinfección de insectos, pasteurización.	1985
Chile	Pescado y derivados	Desinfección de insectos, pasteurización	1983
Francia	Gambas congeladas	Desinfección de insectos, Pasteurización.	1985
Países Bajos	Gambas y pescado congelado	" "	1983
U. K.	Pescados y mariscos		
USA	Pescados y derivados	" "	1965
Rusia	Pescado	" "	1969

Tabla 3 - Países que irradian pescado.

Países como Brasil, Chile o Francia, con los cuales se mantienen relaciones comerciales (importamos) irradian este tipo de alimentos. La pregunta es, ¿estamos debidamente informados?, ¿Que ventajas e inconvenientes tiene?. ¿existe legislación al respecto? ¿ Se irradian alimentos en España?.Trataremos a lo largo de este capítulo, contestar a algunas preguntas.

## 1.2. El proceso. ¿En que consiste el tratamiento de alimentos por irradiación?

La irradiación es un proceso por el que se somete a un alimento a una fuente de energía ionizante con los objetivos fundamentales de mejorar las condiciones higiénico-sanitarias y/o alargar la vida comercial del mismo.

Un esquema muy simple de este proceso se muestra en la Figura 1 .En este caso, la fuente generadora de la irradiación es una fuente de electrones (arriba) que hace incidir los mismos (con una energía característica) sobre unos alimentos que vienen depositados en una cinta transportadora. Como puede verse en

este esquema, el instrumental necesario para realizar este tipo de irradiación es simple, manejable y de fácil implantación en una cadena de producción.

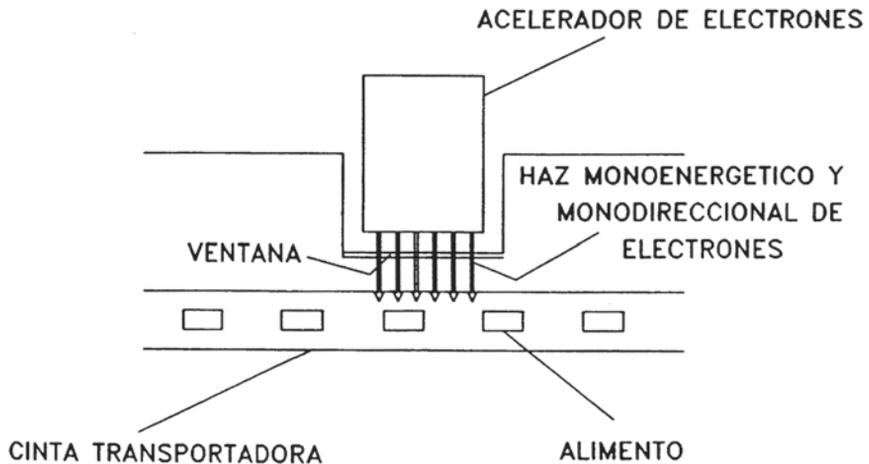


Figura 1 - Esquema de un irradiador de alimentos empleando una fuente de electrones acelerados. (Calderon,2000)

Según el Comité de Expertos sobre Irradiación de Alimentos (FAO/OIEA/OMS), establecido a instancias de la OMS en 1980 y el Codex Alimentarius (1984, Vol. XV), las fuentes que se pueden utilizar para la irradiación de alimentos son:

- a) Rayos gamma procedentes de los radionúclidos  $^{60}\text{Co}$  o  $^{137}\text{Cs}$ .
- b) Rayos -X generados de equipos que emiten radiación a energías menores o iguales a 5 MeV
- c) Electrones, con energías iguales o inferiores a 10 MeV, generados en equipos especiales.

De los dos radioisótopos potencialmente útiles,  $^{60}\text{Co}$  y  $^{137}\text{Cs}$ , solamente el primero suele utilizarse en la actualidad en procesos de escala industrial. A los problemas relacionados con la mayor riesgo de contaminación el  $^{137}\text{Cs}$  une el abandono de su producción por su principal fabricante (USA), lo que hace que su presencia en el mercado sea cada vez mas rara.

La utilización de equipos de rayos X con fines únicamente científicos era ya un hecho a principios de siglo (von Laue, Bragg), aunque como sabemos, su construcción con fines industriales fue muy posterior.

En relación a los equipos comerciales capaces de acelerar electrones para irradiar alimentos, son utilizados desde los años 50.

Para la irradiación de alimentos a escala industrial se hace necesario la construcción de plantas específicas: Su clasificación puede abordarse en base a diferentes criterios, nosotros hemos optado aquí hacerlo en función del tipo de fuente utilizada, de esta forma tendríamos (Fig.2.).

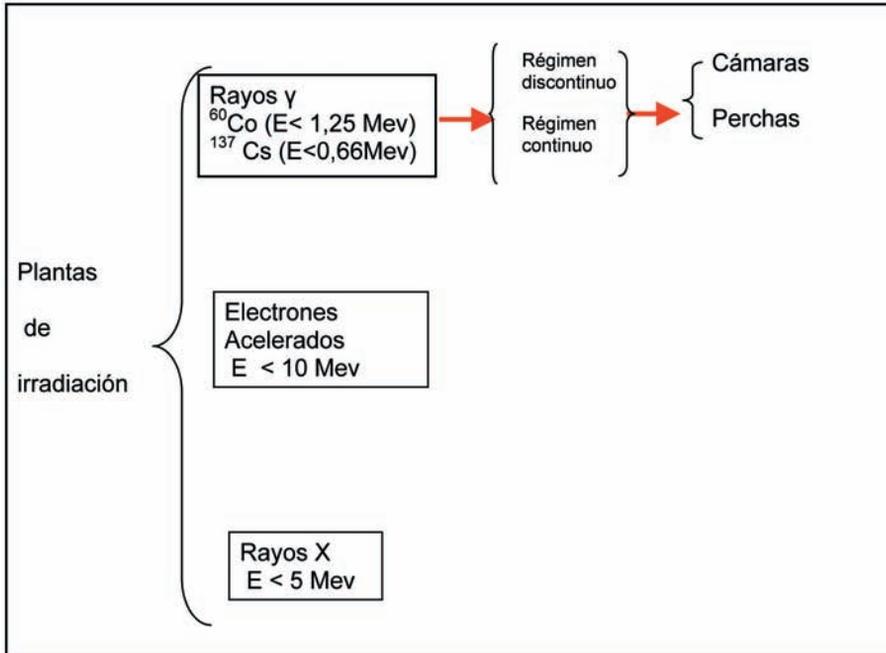


Figura 2 - Clasificación de plantas destinadas a irradiar alimentos en función del tipo de fuente utilizada.

Actualmente, las plantas de irradiación gamma más utilizadas corresponden a dos tipos:

#### i) grandes cámaras

Las grandes cámaras consisten en una gran sala (cámara de ionización) que contiene barras de  $^{60}\text{Co}$  en el centro, con objeto de que la emisión gamma emita en todas las direcciones. Normalmente, se utiliza para irradiar grandes cantidades de productos (patatas a granel, cebollas, maíz, pescado, etc.) los cuales se colocan en unos "palets" que son depositados en unas vías situadas en torno a la fuente. La dosis de radiación absorbida por el alimento dependerá del tiempo de exposición del mismo ante la fuente.

A este tipo de planta también se le conoce con el nombre coloquial de "tipo

piscina” por el hecho de que cuando la fuente, conteniendo el radioisótopo no está irradiando, la misma viene encapsulada bajo una piscina de agua desionizada a una profundidad mínima de 4 metros.

ii) *En perchas*

Así denominadas porque los productos a irradiar van colocados en grandes cestas o perchas.

Al igual que sucedía en el caso anterior, el material radiactivo ( $^{60}\text{Co}$ ) se encuentra, cuando no irradia, en el fondo de una piscina de unos 4 m de profundidad y que toda la instalación está normalmente protegida por gruesos muros de apantallamiento de unos 2 m. de espesor. El material que debe ser irradiado se coloca en un tren sin fin y se mueve hacia la cámara de irradiación (1).

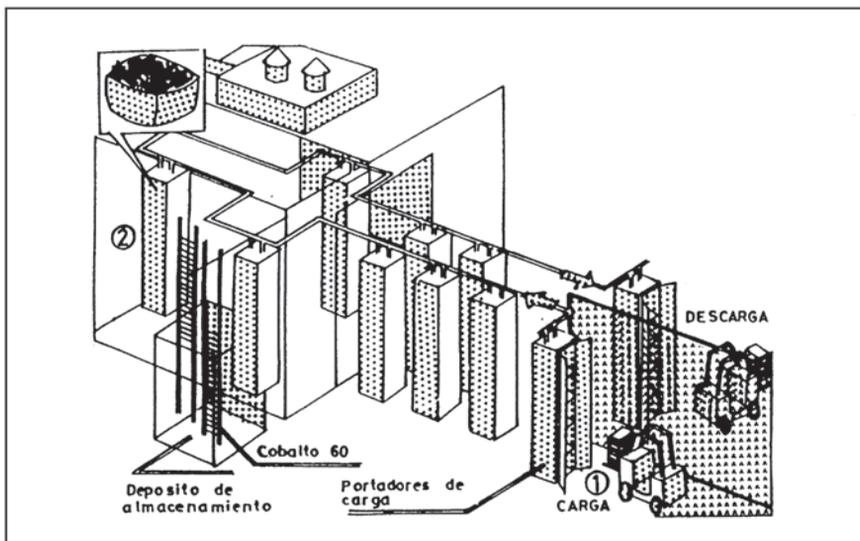


Figura 3 - Esquema de una planta de irradiación gamma en perchas (Calderón, 2000).

Cuando el alimento llega a la cámara de irradiación los cilindros conteniendo el  $^{60}\text{Co}$  se elevan dejando a la vista y operativos los mencionados cilindros. Las cintas giran alrededor de los tubos que contienen el material radiactivo de tal forma que se irradian ambos lados de una muestra (2). La dosis que cada alimento absorbe se calcula en función de la actividad de la fuente (en Curios o Bequerelios) o por su Tasa de Dosis (Gy /tiempo) y el tiempo que la muestra está en posición de irradiación.

Ambos tipos de plantas pueden trabajar en régimen continuo o discontinuo (en tandas).

Plantas industriales que utilicen rayos X o electrones tienen distinta suerte. Las primeras aún no son viables ; las segundas parecen tener un importante futuro . En este sentido es importante conocer que la única planta con posibilidades de irradiación de alimentos en España (Tarancón, Cuenca) es de electrones acelerados. Su descripción y características forma parte de otro capítulo de este libro.

### 1.3. Propósitos de la irradiación de alimentos

Las finalidades básicas y esenciales de la irradiación de un alimento son las de mejorar sus cualidades higiénico-sanitarias y alargar la vida comercial del producto. No obstante, existen una amplia gama de posibles propósitos que podemos alcanzar en función de la dosis a aplicar. Con esta idea se ha desarrollado la Tabla 4. Como puede observarse en la misma, dosis bajas (0-1 kGy) pueden traducirse, por ejemplo, en una inhibición en el rebrote de tubérculos, en un retraso en procesos de maduración o en un proceso de desinfección de insectos.

A dosis más elevadas (1-50 kGy) comienzan la reducción de poblaciones bacterianas y los procesos de esterilización.

Íntimamente unido al concepto de higiene alimentaria se han desarrollado distintas terminologías que tratan de relacionar irradiación con el éxito en la eliminación de microorganismos. Nos referimos a los siguientes términos:

#### *a) Radiación de esterilización*

Su objetivo era proporcionar un artículo indefinidamente estable, mediante la destrucción mayoritaria, o idealmente todos, los microorganismos presentes en el alimento.

#### *b) Radiación de Pasteurización*

Su misión era destruir solo parte de la población microbiana, o incluso retrasar el recrecimiento de esporulados o eliminar un grupo particular de organismos nocivos para la salud humana.

Esta nomenclatura:

no establece límite de dosis, solamente dos niveles: pasterización y esterilización.
--

Por una serie de razones esta terminología no ha sido considerada apropiada y su uso ha ido haciéndose cada día más minoritario. Últimamente, los textos y especialistas hablan en términos de :

DOSIS BAJAS (menores de 1 kGy)
<p><b>Inhibe la germinación de patatas</b>, cebollas, batatas... etc. y permite el almacenamiento a largo plazo sin el uso de productos químicos inhibidores.</p> <p><b>Causa la muerte o esterilización sexual de insectos</b> y así previene las pérdidas causadas por los mismos en el almacenamiento de grano de cereal, harina, frutos secos, nueces, legumbres, sin el uso de fumigantes químicos; también <b>impide la propagación de pestes de insectos (esteriliza huevos y larvas de insectos)</b> y así puede ser usada como un tratamiento de cuarentena en vez de fumigantes químicos.</p> <p><b>Destruye parásitos en la comida</b> tales como la <i>Endamoeba histolytica</i> (protozoo que causa la <b>disentería amebiana</b>), <i>toxoplasma gondii</i> (protozoo que causa de <b>toxoplasmosis</b>); <i>Trichinella spiralis</i> (parásito helminídeo que causa la <b>triquinosis</b>)... etc.</p> <p>Retrasa el <b>proceso de maduración en frutas</b>.</p>
DOSIS MEDIAS (1 -10 kGy)
<p><b>Reduce las poblaciones bacterias (salmonellas, lactobacillus..etc), mohos y levaduras</b> presentes en la superficie o en el interior del alimento, <b>mejorando así las posibilidades de almacenamiento y previniendo la formación de posibles tóxicos debido a la salmonella</b> y otros organismos patógenos.</p>
DOSIS ALTAS (10 - 45 kGy)
<p><b>Destruye o reduce al máximo las poblaciones de organismos patógenos, p.e.: bacterias (Gram-negativas tales como: Salmonella, Listeria, Estafilococos, Lactobacillus, incluyendo aquellos esporulados, tales como clostridium botulinum) y virus.</b></p> <p><b>Esteriliza alimentos envasados, pre-cocinados, congelados. .etc.</b></p>

\* La dosis total media es el valor medio aritmético de todas las lecturas dosimétricas en una sesión de irradiación dada. Para determinar este valor medio debe distribuirse al azar un número adecuado de dosímetros en el alimento mientras se expone a la irradiación(4).

\*\* Gray es la cantidad de energía absorbida correspondiente a un joule por Kg de sustancia irradiada. En el sistema internacional reemplaza al rad (1Gy = 100 rad.).

\*\*\* Rad es la cantidad de radiación necesaria para impartir una energía media de 100 ergios, a la unidad de masa del sistema irradiado (gr.).

Tabla 4 - Propósitos de la irradiación de alimentos.

### c) Radapertización:

Tratamiento de los alimentos con una dosis de energía ionizante capaz de reducir los niveles de los microorganismos, conservándose el alimento durante largo tiempo si se almacena de forma que se evite la recontaminación. A este proceso se le denomina también esterilización. La dosis utilizada habitualmente es de Dosis (D ? 20-50 kGy) superiores a los 20 kGy.

### d) Radicidadión:

Tratamiento de una alimento en el cual la dosis de energía ionizante es

suficiente para reducir el número de viables específicos no formadores de esporas bacterianas patógenas hasta un nivel en que dichos microorganismos no son detectables en un alimento tratado por un método de análisis reconocido. Las dosis requeridas están comprendidas en el rango de 2-8 kGy. Puede establecerse un paralelismo con la Pasteurización.

Su rango de aplicación bajo, unido a las indudables ventajas sobre el producto añadido, le hacen óptimo para los productos loncheados, reenvasados, las verduras y productos IV gama, los platos precocinados o listos para su consumo, los de origen animal o de las pesca marinados y/o inyectados envasados al vacío y los alimentos funcionales.

#### e) Radurización.

Tratamiento de una alimento con una dosis capaz de reducir sustancialmente el número de viables. El tratamiento requiere dosis que van desde 0,5 a 10 kGy.

Esta otra nomenclatura relaciona:

dosis con éxito, en la eliminación de microorganismos patógenos.

### 1.4. Ventajas e inconvenientes de la irradiación de alimentos

Sobre este punto ya se ha escrito abundantemente así que nos limitaremos a describir brevemente algunos aspectos ( Satín, 1996 ; Diel, 1990; Farkas, 1988;):

#### *Ventajas de la Irradiación (1)*

- Libera de microorganismos patógenos, sin introducir sustancias extrañas, ni hacer que el producto pierda su calidad de fresco.
- Reduce o evita el uso de conservantes.
- Se procesa en el envase final.
- Al prolongar la vida útil, permite alcanzar mercados más distantes.
- Al mejorar la calidad higiénico-sanitaria, permite alcanzar mercados de más altas exigencias.
- Mantiene el valor nutricional a niveles comparables a otros tipos de procesado.
- Elimina insectos en productos frescos y granos.

- Preserva la textura del alimento.

Sin embargo, su uso no implica el abandono de ciertas prácticas como:

- No reemplaza los buenos hábitos de almacenamiento y preparación en restaurantes y la casa.
- No reemplaza el control sanitario de los servicios alimentarios.
- No reemplaza el control sanitario y regulación de la industria alimentaria.
- No elimina completamente todos los potenciales organismos causantes de enfermedades.

### *Inconvenientes de la irradiación (2)*

- *Su propia denominación*

Una de las razones más poderosas para el rechazo de este método es su propio nombre. Normalmente el mismo viene asociado con alta tecnología, radiactividad, tratamiento con radionúclidos y cáncer. En este sentido distintos países han optado desde hace tiempo por sustituir la palabra "irradiación" por ionización. Esta última sin connotaciones negativas.

- *No puede ser utilizado para todos los productos*

Este término carece de importancia porque es común a todos los procedimientos de conservación de alimentos.

### **1.5. Pérdida de vitaminas**

Existe una sensibilidad de los alimentos a la radiación y como consecuencia de ello se pueden producir la pérdida de vitaminas ( la pérdida no afecta igualmente a todas , las mas sensibles parecen la vitamina A, B1, E). El grado de destrucción de una vitamina depende de la composición misma del alimento, porcentaje de agua contenida, tiempo transcurrido entre la irradiación y el análisis, naturaleza y concentración de la vitamina, presencia y/o ausencia de aire, temperatura. Los trabajos de investigación recientes ponen de manifiesto algunas cosas:

i) Es cierto que existe una pérdida de vitaminas al irradiar, pero este efecto es comparable a otros procedimientos utilizados en la manipulación/conservación/preparación de alimentos (Tabla 5).

ii) Muchos de los trabajos previos en que se basa esta afirmación tienen serios fallos metodológicos.

iii) Este efecto puede controlarse.

Un ejemplo en el se se comparan distintas formas de conservar/preparar un alimento se presenta en la Tabla 5. En la misma, en la primera columna se hace referencia a las posibles formas en la preparación/conservación de un alimento. Las columnas 2,3,4 y 5 hacen mención al alimento y % de pérdida de vitaminas C, B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub>, respectivamente.

En general si observamos las tres primeras filas de esta tabla (tres productos distintos-tres procesos) se observa que independientemente del proceso de conservación/preparación elegido existe un descenso del contenido vitamínico.

En relación a un producto concreto (tomado como ejemplo de esta tabla), la leche, cuando se pasteuriza se observa un descenso entre el 25-50 % de vitamina C, un 30 % de vitamina B<sub>1</sub> y 14 % de vitamina B<sub>2</sub>. Este mismo efecto se observa cuando la leche está simplemente 24 horas a la luz solar. Sin embargo, si comparamos estos efectos con el correspondiente de la irradiación se observa que, al menos para este producto y dosis, no se detectan cambios en el contenido vitamínico.

Preparación /conservación de un alimento	Producto	% perdida Vit. C	% Perdida B <sub>1</sub>	% perdida Vit. B <sub>2</sub>
Almacenamiento 15 días en Refrig..	Zanahorias		50	
Blanqueado	verduras	13-60		
Cocinado	carne	50	25-75	10
Pasterización	leche	25-50	30	14
Exp. luz solar	leche			90
Exp. Gamma a) 0,8 kGy	leche			n.d.
Congelación	Verduras	25		

Tabla 5 - Comparación de diversos métodos de preparación/conservación de un alimentos y % de pérdida de vitaminas (Calderón,2000).

## 1.6. Formación de radicales libres

Un radical libre es un átomo o molécula que posee uno o más electrones no apareados girando en sus órbitas externas. Esta condición, químicamente muy inestable, lo torna sumamente activo puesto que el electrón impar o solitario “busca desesperadamente una pareja” para salir del desequilibrio atómico. Para lograr su objetivo, sustrae un electrón a cualquier molécula vecina, lo que en química quiere decir que “oxida” la molécula, alterando su estructura y convirtiéndola a su vez en otro radical libre ansioso por captar un electrón. Se genera así una reacción en cadena.

Este argumento, junto con la posibilidad de generar cambios organolépticos (negativos) ha sido clásicamente muy utilizado como argumento en contra de la irradiación. Conviene pues, aclarar algunos puntos clave.

Por ejemplo, el CAST (Council Agricultural Science Technology) ha estimado que la aplicación de una dosis de 1 kGy podría traducirse en la rotura de 10 enlaces por  $10^6$  de los presentes. Si estos datos son correctos, hemos de reconocer que tal posible pérdida es cuanto menos insignificante.

Es interesante en este punto detenerse en otro informe emitido por la FAO/WHO/IAEA en 1980 en el cual se dice : *“estudios de radioquímica han demostrado que los productos radiolíticos desarrollados en proceso de irradiación son idénticos, independientemente del alimento que derivan.”*

Y también: *“la mayoría de estos productos radiolíticos fueron detectados en alimentos sujetos a otros procesos de conservación”.*

Lo que traducido en palabras más sencillas equivale a decir que:

los productos radiolíticos que se puedan encontrar en productos sometidos a procesos de irradiación, para un mismo producto, son exactamente iguales a los generados por cualquier otro proceso de conservación (altas presiones, pulsos lumínicos, congelación, etc.).

## 1.7. Variación de las propiedades organolépticas

Los primeros trabajos sobre la irradiación de alimentos desarrollados en los años 50-60 se encontraron, por regla general, con desagradables sorpresas. Esto es, una parte de los alimentos irradiados eran higiénicamente perfectos pero desarrollaban algunas propiedades que no eran agradables al gusto del consumidor. En general estas propiedades estaban relacionadas con cambios de color poco atractivos y desarrollo de malos olores. Posteriormente, y con un mayor conocimiento de las variables de los procesos, estos aspectos han sido perfectamente minimizados y controlados; sin embargo la “leyenda negra”

sobre el desarrollo de propiedades organolépticas desagradables continúa en algunos países.

Nos gustaría dejar clara una idea sencilla relacionada con este punto:

No todos los cambios organolépticos inducidos por radiación tienen que ser forzosamente desagradables.

En este sentido, es interesante observar la Tabla 6, donde hemos puesto algunas variaciones organolépticas; por ejemplo las tres primeras filas representan la variación de color inducido por radiación en tres productos: carnes, cerezas y fresas. No hay que decir que los resultados obtenidos no son aquellos que como consumidor desearíamos. Una sola cosa, este estudio corresponde a trabajos desarrollados en los años 60 del siglo XX cuando las condiciones, control del proceso y experiencia sobre la irradiación no eran aún las adecuadas. Las cuatro últimas filas, representan ahora estudios desarrollados en los años 90 del mismo siglo. Como vemos la variación de propiedades (color en este caso) va en la misma línea que pide el consumidor. ¿Es incorrecto obtener naranjas con un color más atractivo de cara al consumidor?. Este argumento va en la línea de lo expresado anteriormente en el recuadro.

Alimento	Dosis (kGy)	Cambio de color	Cambio de color a
Carnes	< 1kGy, en oxígeno	rojo	Gris marrón
Cerezas	11 - 17	rojo	amarillo
Fresas	3 - 4	rojo	amarillo
Carne	A vacío	rojo	Rojo brillante
Carne	En oxígeno	rojo	Rojo claro
Naranjas	En aire	naranja	Naranja brillante
Salmón	> 10 kGy	anaranjado	rosáceo

Tabla 6 - Variación de propiedades organolépticas de distintos alimentos con la irradiación.

## 1.8. Legislación sobre aplicable a la irradiación de alimentos

Aunque la legislación sobre la irradiación de alimentos parte en España de los años 50 del siglo XX, exponemos a continuación un breve resumen de

aquellos Decretos más recientes que afectan tanto a la industria como al consumidor.

<p>En la U.E. Directiva 1999/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de febrero de 1999 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes</p>
<p>Diario Oficial n° L 066 de 13/03/1999 Directiva 1999/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de febrero de 1999 relativa al establecimiento de una lista comunitaria de alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes Diario Oficial n° L 066 de 13/03/1999</p>
<p>Por el momento esta reglamentación europea sólo autoriza el tratamiento con radiaciones ionizantes en hierbas aromáticas, en especias y en condimentos vegetales. La comisión europea pretendía ampliar esta lista antes de Diciembre de 2000, sin embargo la ampliación se ha retrasado y el debate entre partidarios y detractores continúa abierto.</p>
<p>En España,  REAL DECRETO 348/2001, de 4 de abril, por el que se regula la elaboración, comercialización e importación de productos alimenticios e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes.  El Real Decreto 348/2001 transpone a nuestro marco jurídico los preceptos de las Directivas europeas. Según la mencionada reglamentación en España se permite la irradiación de hierbas aromática, especias y condimentos vegetales (10 kGy, valor máximo de la dosis total media de radiación absorbida.).  En este Real Decreto (y en el correspondiente Real Decreto 212/1992 de 6 de Marzo ) se establece la obligatoriedad de etiquetar todos los productos irradiados con las palabras " irradiado" o " producto irradiado".</p>
<p>Hasta el momento en el que se defina la lista completa de alimentos irradiados, los diferentes estados miembros podrán seguir aplicando las autorizaciones que se encuentran vigentes en sus respectivas normativas.</p>

Es una obviedad decir que un producto irradiado que no este etiquetado esta incumpliendo la ley y por lo tanto puede ser objeto de sanción.

### 1.9. Sistemas de control

Por increíble que pueda parecer este procedimiento de conservación de alimentos ha llevado consigo la generación de todo un aparato de control que se restringe hacia dos focos principales (Fig.4) i) la instalación encargada de realizar la irradiación, ii) en el proceso de comercialización.

El Consejo de Seguridad Nuclear es el órgano publico (dependiente del Mº de Industria) encargado de controlar que se cumplen todos los requisitos legales /técnicos establecidos para el funcionamiento y uso de las instalaciones radiactivas. Entre otros aspectos deben controlar: el estado de las fuentes

utilizadas, aspectos de la dosimetría, protección radiológica de los trabajadores de la instalación o visitantes, y mecanismos de protección civil.

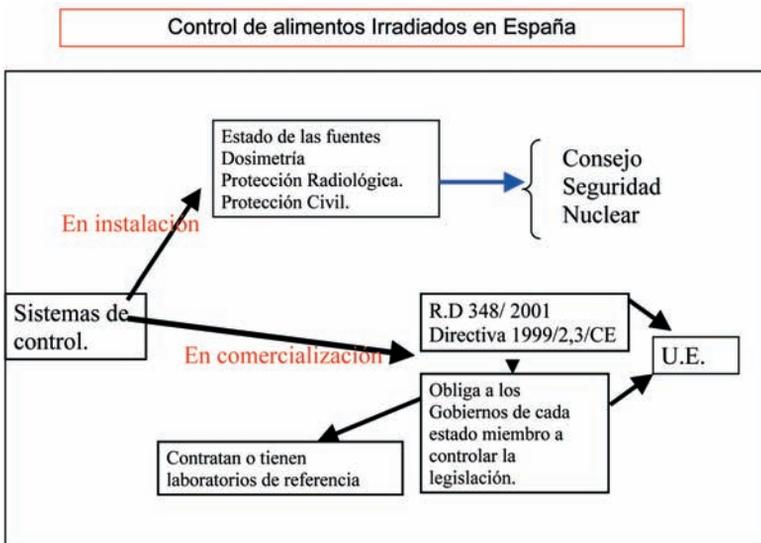


Figura 4 - Esquema simplificado de los procesos de control de alimentos irradiados en España.

Por su parte, el Mº de Sanidad (o el organismo equivalente al que se le transfirieron competencias) es el encargado de velar el cumplimiento tanto genérico (como un alimento mas), como particular (por estar sometido a este tipo de procesos) de la legislación existente, tanto, a nivel nacional, como de la U.E. (si hubiera diferencias). Nos referimos en particular a la observancia del correcto etiquetado de estos productos o al establecimiento de mecanismos de control en el mercado para detectar su presencia.

## 2. CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS PESQUEROS POR RADIACIONES IONIZANTES

Antes de seguir con el desarrollo de este capítulo y tratar de establecer algunas implicaciones en el sector pesquero español, conviene dejar claro algunas conclusiones, por más que evidentes, que el análisis de la bibliografía y de los hechos establecen, a saber:

1) Aunque España es un país casi pionero en temas relativos a la legislación en la irradiación de alimentos (ver decreto de 5 de Octubre de 1966), la aplicación de este método a escala industrial sólo se ha comenzado a realizar en el año 2003. Dejamos al lector el análisis de esta situación tan peculiar.

2) Aunque hay claras evidencias del interés de otros países, con intereses

pesqueros, en esta tecnología, el sector pesquero español ha mostrado escaso interés por la misma.

¿Es hora de cambiar esta situación? La realidad de los hechos, en un futuro próximo, nos dará nuevamente la contestación a esta pregunta. Mientras esto sucede, hagamos un pequeño esfuerzo de puesta al día en este tema específico. Empecemos por conocer algún detalle acerca del pescado como vehículo transmisor de enfermedades y las aplicaciones concretas de la ionización a este sector específico.

## 2.1. Pescado como potencial transmisor de enfermedades

No se pretende dar la imagen de que los productos pesqueros y derivados son potencialmente más propensos a transmitir más organismos patógenos que otros alimentos pero hemos de tener en cuenta dos cosas:

a) Esta idea, alimento-vehículo portador (transmisor) de enfermedades, ha sido utilizada por muchos gobiernos y organismos internacionales (OMS, etc.) para justificar cualquier método de higienización-conservación de alimentos.

b) Conviene tenerlo en mente a la hora de elegir un proceso de higienización determinado porque en el conocimiento de posibles organismos patógenos que lo invaden, su medio de proliferación, y sus fuentes de contaminación, está la solución al proceso que buscamos.

Los vectores biológicos causantes de alteraciones en el pescado pueden clasificarse de la forma siguiente:

### 2.1.1. Parásitos

Aunque han sido citados históricamente ligados a otros productos (cerdo, por ejemplo), últimamente su presencia en el pescado viene causando cierta alarma social en la población, nos referimos fundamentalmente a dos de ellos:

#### *Anisakis*

Dentro de los nematodos, los conocidos con el nombre de *Anisakis* pertenecen a la familia *anisakidae*, formada por 24 géneros de los cuales los más estudiados son los que forman la subfamilia *anisakinae*: *Phocanamea*, *Contracaecum* y *Anisakis*. Éste último reconoce cuatro especies, de las cuales *Anisakis simplex* es la principal responsable de los episodios de intoxicaciones alimentarias que se han reportado en los últimos años. Los otros anisákidos, *Phocanamea* (también conocida como *Pseudoterranova*) y *Contracaecum* son responsables de intoxicaciones en raras ocasiones.

Normalmente se controla su presencia por congelación antes de su procesado

(este quizás es el procedimiento más simple) y si no, puede eliminarse durante el cocinado.

En relación a su aniquilamiento mediante la irradiación hemos de decir que las dosis necesarias son del orden de 5-7 kGy. Estas dosis son ya consideradas dosis altas para un pescado por lo tanto, y aunque se solucione el problema, no resultaría muy recomendable.

*Kudoa (Kudoa thyrsites and Kudoa amamiensis)*

La mayoría de especies de pescado del mundo se encuentran ya parasitadas por Mixosporidios del genero *Kudoa*, varios de los cuales causan daños de importancia comercial. En particular, la infestación por *Kudoa thyrsites* y *Kudoa amamiensis* que afectan a los tejidos musculares, hacen del pescado afectado un producto poco apetecible para el consumo humano (ablandamiento de la carne). La utilización de radiaciones ionizantes para este parásito no ha sido estudiada todavía.

### 2.1.2. Bacterias

Representan el mayor peligro de transmisión de enfermedades tanto por su número, variedad y/o peligrosidad. En principio, desde una perspectiva general, podemos establecer una clasificación amplia basada en el medio en que las podemos encontrar, así:

a) Bacterias patógenas que se encuentran en aguas continentales o marinas, y que potencialmente pueden ser transmitidas por el pescado, son :

*Vibrio spp* , *Aeromonas* y *C. Botulinum (tipo E)* . Las bacterias vibrio mas frecuentes suelen ser *cholera*, *vulnificus* y *parahaemolyticus*, todas ellas potencialmente presentes en ostras, gambas y almejas. Todas ellas potencialmente peligrosas y capaces de causar malestar en la población.

Otras bacterias patógenas pueden estar relacionadas con aguas en contacto con desechos humanos, son: *Salmonella*, *E. olli*, *Euterococcus*, *shigella* y *Listeria monocitogenes*.

Su presencia puede reducirse drásticamente con dosis comprendidas entre 0-3 kGy.
--

b) Bacterias patógenas o infestación producida durante el procesado (infestación personal).

Se produce fundamentalmente durante las fases de empaquetado y manejo del producto y puede estar relacionada con el personal encargado de este proceso o por mala limpieza de los envases o contenedores.

Se ha citado la presencia de *Staphylococcus aureus* en procesos de preparación de caballa y *S aureus* en bacalao fresco y ahumado. En estos casos, dosis de 1 kGy y de 5 kGy ,respectivamente, resultan eficaces para controlar el proceso sin pérdida apreciable en sus cualidades sensoriales.

### 2.1.3. Virus

En general casi todos ellos son bastante resistentes a los procesos de irradiación o requieren altas dosis por lo que en la práctica resultan poco aceptables. En la mayoría de los casos el simple cocinado suele eliminar el riesgo de infección vírica.

## 2.2. Productos pesqueros del sector alimentación y dosis necesarias para su higienización

Los estudios más recientes llevados a cabo hasta la fecha sobre el efecto de radiaciones ionizantes en poblaciones de microorganismos patógenos presentes en el pescado muestran una conclusión clara:

La irradiación más eficaz para los productos pesqueros debe estar siempre por debajo de los 3 kGy.

La razón a esta afirmación tan categórica está relacionada con la variación de propiedades organolépticas del producto observada a dosis altas después de la irradiación. Esto es, las distintas experiencias desarrolladas a diferentes dosis y con diferentes variedades de pescado ponen de manifiesto que a dosis mayores que a las anteriormente mencionadas, se observa que:

a) Puede afectar a la calidad sensorial y aspecto físico del pescado (reblandecimiento y/o pérdida de su aspecto “fresco”).

A estas dosis se han observado incluso procesos de pérdida o variaciones en color y/o sabor (fundamentalmente en variedades de pescado ricas en ácidos grasos; pe. salmón).

b) La esterilización puede resultar económicamente poco atractiva.

La dosis necesaria para esterilización de un producto pesquero es = 10kGy . Para estas dosis se ha comprobado que aunque mejora las condiciones higiénico- sanitarias del producto su aplicación puede resultar poco atractiva económicamente debido a las altas dosis a utilizar. Esta razón fue muy tenida en cuenta por los ejércitos americanos, en los años 70-80 del siglo XX, a la hora de plantearse la utilización de este proceso. Probablemente, esta situación ha cambiado en la actualidad ya que la utilización de procesos mixtos, por ejemplo irradiación – calor o irradiación atmósferas controladas, hayan hecho variar las condiciones económicas. Hay que tener en cuenta que la mayoría de experiencias en éste sentido tuvieron lugar hace casi 30 años.

Por el contrario, si se respeta este margen establecido entre 0-3 kGy (pasteurización) tendremos algunas ventajas añadidas, a saber:

c) Reducción entre un 90-95% de los microorganismos patógenos responsables de la putrefacción y por lo tanto aumenta la vida útil del producto.

d) Eliminación o reducción de bacterias patógenas asociadas a los alimentos.

e) Incremento de la vida media del producto en un tiempo medio de unos siete días.

En resumen, los datos presentados en la Tabla 7 ponen de manifiesto lo siguiente:

a) Las dosis necesarias para una buena pasteurización del pescado están comprendidas en el rango 0-3 kGy.

b) En la mayoría de casos observados el incremento de la vida media comercial es del orden de 7 a 14 días, dependiendo de la variedad y posterior conservación.

A lo expuesto anteriormente podríamos añadir;

c) Se consiguen mejores efectos en el incremento medio de la vida comercial combinando métodos; por ejemplo frío más irradiación o atmósferas controladas mas irradiación.

d) Faltan por explorar aquellos aspectos relacionados con la gama de productos semipreparados, nuevos alimentos, etc., aunque en nuestra opinión su futuro puede ser muy prometedor.

Algunos ejemplos, en relación a nuevos “productos alimenticios” a los que se les ha aplicado radiaciones ionizantes aparecen en la Tabla 8. Creemos que su aplicación se irá incrementando a lo largo del tiempo.

### 3. CONCLUSIONES

La utilización de las radiaciones ionizantes por parte del sector pesquero español, hasta ahora, ha sido prácticamente inexistente. No sabemos a ciencia cierta los motivos de este fenómeno pero, sin duda, pueden estar relacionados con algunos de los aspectos que a continuación se detallan:

a) Posible desconfianza por parte del consumidor.

b) La no exigencia de los mercados exteriores hasta ahora utilizados de mayores exigencias higiénicas.

Especie	Dosis Optima (kGy)	Vida comercial (días)	Incremento de la vida comercial en relación a control. (días)	Comentario /Referencias
<b>MOLUSCOS</b>				
Almejas	4,5	30	----	Conservación en hielo (Martin et al ,2000)
Ostras	2	28	15	Este efecto solo es observable para ostras irradiadas a D ≥ de 1,5 kGy. (Iluso et al,1970; Melletet al 1991).
<b>CRUSTACEOS</b>				
Gambas	1,5 - 2	30	14	(Novak et al. 1973 Vyncke etal. 1976 )
<b>PESCADOS</b>				
Atún, pescadilla, lenguado y perca	1,5 – 2,5	25-30	14-20	Almacenado en hielo Ritacco,1976 ; Ampola etal. 1970; Teeny et al. 1970)
Caballa y salmón	Dosis ≥ 1,5			No tiene buenas cualidades sensoriales debido a la oxidación lipídica y pierde coloración. (Rhodes,1964 ; Eukel & Huber,1960)
Lenguado	1 - 3 <sup>a)</sup>	30		
Bacalao <i>gadus morhua</i>	1,5	20		(Thibault,C. & Charbonneau, ,1991)
Arenque, trucha	0 - 1	7	7	Karnop & Antonacopoulos,1977; Grailkowski et al,1970)

a) dependiendo de la variedad

Tabla 7 - Ejemplos de dosis aplicadas para la ionización de productos pesqueros.

Producto	Dosis optima (kGy)	Vida comercial (días)	Incremento de la vida comercial en relación a muestras patrón	Comentarios/Referencias
Cangrejo precocinado	0,5 – 2,5	24	14	Estudios destinados a comprobar la viabilidad del método para incrementar los aspectos higiénicos e incrementar su tiempo de vida útil ( Chen et al.1996;).
Surimi	0,34	-----	-----	Dosis destinada a comprobar la eficacia del método en la eliminación de bacterias. (Jaczynsky & Park,2004)

Tabla 8 - Nuevos alimentos con base en pescado y dosis de irradiación aplicada

c) La no existencia de unas instalaciones apropiadas cerca de las zonas costeras (con la posible incidencia en costos).

d) El desconocimiento que hacia este tipo de tratamiento podría existir por parte de los empresarios del sector afectado.

Resulta cuanto menos sorprendente que países menos potentes en este sector (Brasil, Argentina, Francia, Inglaterra) lleven utilizando este procedimiento desde hace años y España no se lo haya planteado jamás. No es el objetivo de este capítulo hacer reivindicaciones históricas, simplemente habría que preguntarse si habremos “perdido otro tren” o estaríamos aún a tiempo de subirnos a él.

Desde una perspectiva más concreta recordar dos cosas importantes acerca de la irradiación de productos pesqueros:

a) La irradiación de este tipo de productos participa de las mismas ventajas-inconvenientes que las de cualquier otro alimento.

En términos generales, los mejores resultados se obtienen a dosis inferiores a 3kGy.

## REFERENCIAS

- Ampola, V. G.; Connors, R. J.; Ronsivalli, L. J. (1970) - Food Technol.23,357.
- Calderon, T. (2000) - La Irradiación de Alimentos - Ed. McGraw-Hill.
- Chen, Y. P.; Andrews, L. S.; Grodner, R. M. (1996) - J.Food Sci..61(6),1239-1242.
- Diel, F. J.(1990) - Safety of Irradiated Foods - Marcel Dekker, INC. New York
- Eukel, W. W.; Huber, W. (1960) - Food Technol.14,198.
- Farkas, F.(1988) - Irradiation of dry food ingredients - CRC. Press. Florida. USA.
- Grailkowski, J. T.; Kazanas, N.; Watz, J.; Ducharme, S.; Emerson, J. A. ; Seafan, H. L. (1970) - Report to the US Atomic Energy Commission on Contract - Nº. AT (49-11)-2954.
- Jaczynski, J. & Park, J. W. (2004) - American Chemical Society. 165-179.
- Karnop, G ; Antonacopulos, N. (1977) - Dtsch. Lebensm-Rundsch. 73,217-222.
- Iluso, J. A.; Novack, A. F.; Grodner, R. M.; Rao, R. R. (1970) - Report to the US Atomic Energy Comisión on Contract - Nº.ORO-676-Baton Rouge. L.A.
- Mallett, J. C.; Befhian, L. E.; Metcalf, R.; Kaylor, J. D. (1991) - J.Food Safety,231-245.
- Martin, R. E.; Carter, E. P.; Flick, G. J.; Davis, L. M. Edts. (2000) - Marine and Fresh watter Products Handbook - Technomic;Lancarter,PA.
- Novak, A. F. ; Rao, R. R. (1973) - Radiation Preservation of Food,pp.441-453-
- Rhodes, D. N. (1964) - Food Irradiation.4 (4),A8-A22.

- Ritacco, M. (1976) - Comision Nacional de Energia Atomica.Nº.409,1-16.
- Satin, M. (1996) - Food Irradiation - Technomic Publishing Company. Pennsylvania. USA.
- Teeny, F. M.; Miyauchi, D. J. (1970) - J. of Milk and Food Technol. 33,330-334.
- Thibault, C.; Charbonneau, R. (1991) - Sciences des Aliements. 11 (2),249-261.
- Vyncke, W., eclerk, , chietecatte (1976) - Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie. 9, 14-17.



## Capítulo VI:

# **TECNOLOGIA DE IONIZACIÓN CON ELECTRONES DE ALTA ENERGÍA APLICADA A ALIMENTOS**

---

### **Olga Melero Morales**

Departamento Desarrollo Comercial  
IONMED ESTERILIZACIÓN, S.A.  
Rocinante, parcela 50. Pol. Ind. Tarancón Sur  
16400 Tarancón. Cuenca. España.  
Tlfno.. +34-969320496. Fax: +34-969322891  
e-mail: omm@ionmed.es

## **1. INTRODUCCIÓN**

Actualmente, uno de cada ocho individuos sufre desnutrición y más de 25% de los productos alimenticios se han deteriorado antes de llegar a ser consumidos. Además, la población del planeta se duplicará en las cinco próximas décadas, lo que no hará más que empeorar esta situación ya alarmante. Resulta necesario, por lo tanto, no sólo producir alimentos sanos y de alto valor nutritivo, sino también ser capaces de conservarlos durante mucho más tiempo y en las mejores condiciones posibles.

Desde siempre el hombre ha consumido productos marinos. De hecho, constituyen la base de su alimentación, en numerosas regiones del mundo, aportando así una importante fuente de proteínas. Desgraciadamente, el carácter perecedero de estos productos constituye no solo un problema toxicológico sino también económico.

En la actualidad, se utilizan distintos métodos de conservación pero ninguno resuelve de manera satisfactoria los problemas de conservación y comercialización planteados por estos productos.

Los objetivos que deben lograrse son los siguientes:

- Mantener la máxima de calidad del producto fresco hasta su consumo o transformación por el industrial.
- Prolongar los plazos de venta, con el fin de controlar un mercado muy inestable debido a las fluctuaciones de los suministros.

Los métodos de secado, salazón y ahumado modifican mucho las características organolépticas de los productos frescos. Además, estos métodos son poco eficaces contra la contaminación bacteriana y la infestación parásita. Las técnicas más empleadas son aquellas que utilizan el frío (refrigeración, congelación) o el calor (pasteurización). Sin embargo, con el calor, disminuye las calidades organolépticas y nutritivas de los productos pesqueros (destrucción de las vitaminas por ejemplo) y la congelación no permite un correcto saneamiento (Los gérmenes patógenos no se destruyen a temperaturas inferiores  $-10^{\circ}\text{C}$ ).

La ionización en el sector pesquero aparece como un método revolucionario. Organismos internacionales como la organización mundial de la salud (OMS) reconocieron su inocuidad para el consumidor. El tratamiento ionizante ya se empleó con éxito para la conservación de algunos productos alimenticios (patatas, cebollas, etc) en los años 60.

## 2. IONIZACIÓN DE PRODUCTOS PESQUEROS

Las personas han buscado conservar sus suministros alimentarios y controlar las enfermedades e infestación de insectos desde tiempos muy remotos. Sin embargo la FAO estima que el 25% de toda la producción de elementos pesqueros obtenidos en el mundo entero se pierde después de la recolección debido a insectos, bacterias y a la infestación de roedores debido a un manejo inadecuado en los centros de procesado (ICGFI, 1998; Venugopla et al., 1999). En estados Unidos se estimó que las toxiinfecciones causadas por patógenos bacterianos y parásitos es la causa de 6-33 millones de casos. Además de estas pérdidas de vidas, se estimó que las pérdidas económicas anuales asociadas con las enfermedades debidas a la ingesta de alimentos eran del orden de 5-6\$ Billones (Thayer et al., 1996; Henkel, 1998)

De todas las estrategias de eliminación y conservación de alimentos, la ionización es la que ha sido estudiada de un modo más exhaustivo, con mas de 40 años de investigación en el mundo entero y reconocida por prestigiosas instituciones (ICGFI, 1998; Venugopal et al., 1999).

El principal objetivo de la ionización de alimentos es el de reducir o eliminar todo tipo de microorganismos presentes en un alimento sin inducir cambios sensoriales en el mismo.

Los productos acuáticos o de pesca son una fuente importante y básica de

proteínas, pero tienen una vida comercial relativamente corta a menos que se congelen en el barco lo más pronto posible después de ser pescados.

El grupo consultivo Internacional de la Irradiación de alimentos (ICGFI) ha reunido una monografía exhaustiva sobre la irradiación de mariscos con más de 192 (ICGFI, 1998)

### **3. UNA EMPRESA ESPAÑOLA DE ALTA TECNOLOGÍA**

IONMED ESTERILIZACIÓN, S.A. (Figura 1) es una sociedad constituida con capital íntegramente español destinada a paliar las carencias existentes en nuestro país en el campo de la conservación de alimentos.

Uno de nuestros objetivos es el de dedicar parte del tiempo de la instalación a la ionización de alimentos, utilizando la tecnología de vanguardia de ionización por electrones acelerados. Este hecho presenta una moderna y competitiva alternativa a los métodos tradicionales de conservación de alimentos.



*Figura 1*

Los exigentes controles de calidad que se han impuesto a los productos pesqueros en el sector de la alimentación, requieren unos procesos tecnológicos muy complejos que garanticen su higienización por encima de unos límites muy rigurosos.

Un número creciente de empresas del sector alimentario están eligiendo la ionización como método para asegurar la calidad e higiene de una gran variedad de alimentos. Mas de veinticinco años de investigación y aplicaciones comerciales en varios países, han demostrado que la ionización es un método eficaz para disminuir la contaminación microbiana y prolongar la vida de los alimentos, sin producir ningún residuo químico. La industria alimentaria, como

respuesta a la presión creciente de mejora de la calidad microbiológica de los alimentos y de eliminación de residuos químicos, está utilizando la ionización en numerosos países. Además, trabajos recientes de los organismos reguladores internacionales sobre la inconveniencia de los fumigantes químicos como método de higienización de alimentos, están convenciendo a la industria alimentaria de la necesidad de un cambio en la tecnología de higienización. La ionización se ofrece como una alternativa eficaz y beneficiosa.

La investigación y el desarrollo de las aplicaciones en procesos industriales de los aceleradores de electrones se han llevado a cabo durante algo más de los últimos 30 años.

Los resultados de estas investigaciones han desarrollado la tecnología para una gran variedad de procesos alcanzando más o menos desarrollo dependiendo de las necesidades de los países donde han sido desarrolladas.

Hoy día, solamente Japón dispone de más de 180 máquinas aceleradores de electrones repartidas entre centros de investigación y centros de aplicaciones industriales específicas.

El número de instalaciones con aceleradores en el mundo sobrepasa los 700.

Existe una gran variedad de aceleradores con gamas muy amplias de energía y potencia, pero podemos dividirlos en 3 grandes grupos: Baja, Media y Alta Energía. Los de Baja son los que no llegan a los 5 MeV, los de Media son los de 5 MeV y los de Alta alcanzan los 10 MeV.

La energía, la potencia y la dosis son términos que están relacionados:

**Energía de los electrones:** se mide en eV. 1 eV es la energía que adquiere una partícula cuya carga corresponde a la magnitud de la carga del electrón y que es acelerada entre dos puntos cuya diferencia de potencial es 1 voltio. A mayor energía (eVS), mayor capacidad de penetración.

**Potencia:** es la medida de la energía desprendida por un electrón en un segundo. Potencia = 1 J/s = 1 vatio. En los aceleradores se mide en kW. A mayor potencia, más productividad (velocidad de tratamiento).

**Dosis:** energía depositada por la radiación en la unidad de masa. Se mide en kilograys (kGy). 1 kGy = 1 julio / kg.

En el mundo existen unos 300 aceleradores de baja energía, 350 de media y más de 150 de alta.

#### 4. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LOS ACELERADORES

El RHODOTRON (Figura 2) es un diseño revolucionario en el mundo de los

aceleradores de electrones basado en la tecnología aplicada en la construcción de Ciclotrones que le profiere más compacidad y permite alcanzar mayores potencias que los diseños clásicos tipo Linacs o Van der Graff de tamaño similar.

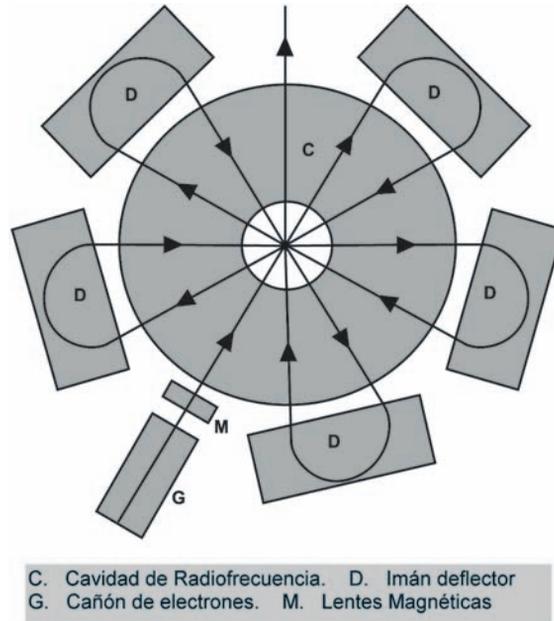


Figura 2

La potencia nominal de estos aceleradores abarca una amplia gama según el modelo comercial de que se trate hasta los 200 kW, si bien la potencia del acelerador que nos ocupa es de 80 kW. Este valor de potencia va a determinar la productividad del proceso industrial; a mayor potencia, mayor productividad.

Al igual que para todos los aceleradores de electrones, opera sobre el principio básico de que los electrones sufren una ganancia de energía cuando atraviesan una región donde existe un campo eléctrico paralelo a su dirección de movimiento. La originalidad del Rhodotron radica en que el campo eléctrico es radial y no axial acelerando a los electrones en una cámara de vacío recorriendo una trayectoria compuesta de varios bucles conformando la proyección de una rosa (Rhodos quiere decir rosa en griego) atravesando varias veces el centro de la cámara. Esto permite la operación de la máquina en modo continuo (frecuencias de 107 MHz) ofreciendo unas claras ventajas industriales frente a otros diseños competidores.

Los electrones son generados en la fuente de electrones y se disparan al interior de la cámara donde se acoplan con un campo electromagnético variable

con la antedicha frecuencia de 107 MHz cuya polaridad va cambiando al mismo ritmo que los electrones atraviesan el centro de la cavidad obteniéndose una ganancia de energía tras cada paso de 1 MeV originada por la tensión de 1 MV existente entre el centro de la cavidad y las paredes exteriores.

Al recorrer un diámetro y encontrarse de nuevo con los límites de la cavidad, 9 imanes deflectores los introducen de nuevo en la misma trazando un nuevo paso por el centro hasta el punto diametralmente opuesto. Finalmente, los electrones salen de la cámara aceleradora con una energía de 10 MeV. Son dirigidos por la línea de transporte del haz, desviados 90º y dispersados en el cono de barrido por un sistema de imanes que les hace barrer una anchura de aproximadamente 1 m (tamaño de paleta tipo) con una frecuencia de 100 Hz.

Los parámetros del acelerador son los siguientes:

#### *Cavidad aceleradora*

Diámetro exterior:	2.0 m
Altura:	1.8 m

#### *Equipo*

Diámetro total:	3.0 m
Altura total:	2.4 m
Peso total:	11 Tn

#### *Características del Haz*

Energía del Haz:	10 MeV
Potencia del Haz a 10 MeV:	1 a 80 kW
Anchura de barrido:	104 cm
Frecuencia de barrido:	100 Hz
Uniformidad de barrido:	± 5%

#### *Consumo de Potencia*

En Stand-by:	< 15 kW
A baja potencia del Haz:	< 140 kW
A 50 kW potencia del Haz:	< 220 kW

#### *Sistema de Radiofrecuencia*

Frecuencia:	107.5 Mhz
Tetrodo de Potencia:	Thomson TH681

#### *Fuente de electrones*

Voltaje:	-40 KV
Pico de corriente:	de 0 a 200 mA
Corriente media:	de 0 a 5 mA
Resolución:	± 50 μ

## 5. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La instalación de IONMED, S.A. (Figura 3) en Tarancón cuenta con los siguientes componentes básicos:



Figura 3

- 1 - Rhodotron (acelerador)
- 2 - Cono de haz de electrones
- 3 - Zona de tratamiento
- 4 - Almacén
- 5 - Volteador de productos
- 6 - Monitores de seguimiento
- 7 - Cinta transportadora
- 8 - Sala de refrigeración
- 9 - Sala de control

### 5.1. Área de Ionización (Figura 4)

Zona donde se ubica el acelerador y donde se realiza el proceso de esterilización de los materiales. Está revestida de paredes de hormigón y por ella circulan a través de un laberinto los productos por medio de un transportador que les hace pasar bajo el haz de electrones.

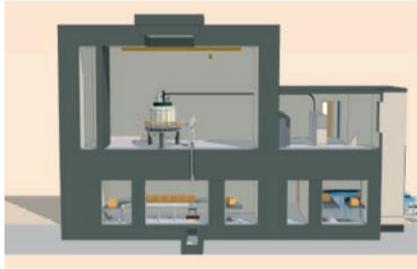


Figura 4

## 5.2. Sistema de gestión y control (Figura 5)

Sistema que permite la recepción, almacenamiento, irradiación con los parámetros validados y salida de los productos con una trazabilidad minuciosa en cada etapa. Cada caja llevará un código de barras que identificará al producto en su paleta y lote. Controla conjuntamente el funcionamiento del acelerador y el transportador, cuyo parámetro común, el factor de dosis (cociente entre la

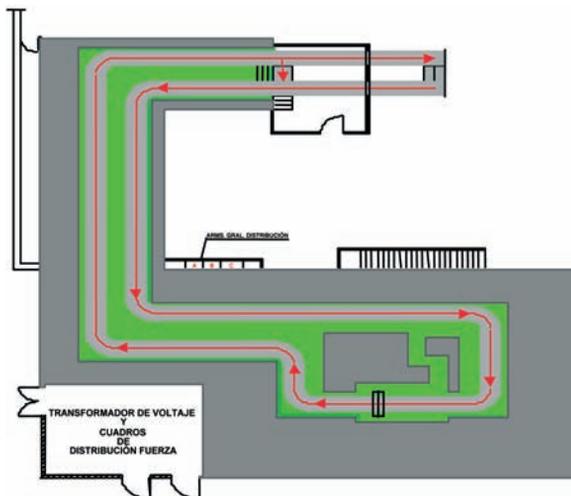


Figura 5

intensidad del haz y la velocidad del transportador en la zona de irradiación), controla la dosis suministrada al producto y todos los sistemas de seguridad de la planta.

### **5.3. Sistema transportador (Figura 6)**

Sistema totalmente automatizado y controlado que facilita el paso de los productos bajo el haz con los parámetros indicados por el sistema de gestión. El sistema permite en todo momento conocer qué bandeja y en qué posición se encuentra visualizándose su recorrido en la pantalla.



*Figura 6*

### **5.4. Almacén general (Figura 7)**

Existe una separación física entre producto tratado y sin tratar. La única vía que tienen las paletas para pasar de la zona de productos sin tratar a la zona de ya irradiados es el sistema transportador. El almacenamiento lo decide de modo automático el sistema de gestión.



*Figura 7*

## 5.5. Laboratorio de Dosimetría

Consta de todos los elementos necesarios para monitorizar, leer y certificar la dosis aplicada en cada caso.

En el funcionamiento de la instalación son cruciales el *acelerador* que suministra el haz de electrones a 10 MeV, el *sistema de gestión y control* que permite el control de los parámetros y la trazabilidad del producto y el *laboratorio de dosimetría* que certifica la dosis de esterilización requerida.

## 6. CUALIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

La NORMA EN-552 da las directrices para lograr la Cualificación de la Instalación, si bien la ISO 11137 es más completa sin contradecir a la anterior. En el proceso de cualificación se siguieron las pautas marcadas por esta última norma elaborándose 11 procedimientos de pruebas con sus correspondientes informes que están a disposición del cliente. Con estas pruebas se trató de demostrar la fiabilidad y repetibilidad de los procesos, incluso conseguir garantías de dosis mínima en operaciones accidentales.

Un cambio en la instalación que pueda afectar a la distribución de dosis en el producto precisará de la repetición de parte o todo el procedimiento de cualificación de la instalación.

Independientemente de lo anterior, el programa de calibraciones/verificaciones de la instalación incluye la verificación anual de los parámetros de funcionamiento del Irradiador, ( Intensidad del haz de electrones, ancho de barrido homogéneo del haz, energía de los electrones y velocidad del transportador). éstas verificaciones se realizan siguiendo los procedimientos descritos en la Instrucción del Laboratorio de Dosimetría ILD 007: "Verificación y Calibración de los parámetros de funcionamiento del Irradiador".

## 7. CUALIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Siguiendo la norma ISO 11137, la cualificación del producto comprende dos pasos:

### Compatibilidad de materiales:

La estabilidad ante la radiación de los materiales a tratar tiene que verificarse a la máxima dosis que recibirán cuando sean tratados. El fabricante de los productos tiene que diseñar los procedimientos que asegurarán la funcionalidad y compatibilidad toxicológica de los productos tratados.

### Determinación de la dosis:

En función de la carga microbiana del producto y respetando las limitaciones de dosis impuestas, se elegirá la dosis idónea para el producto

## **8. CUALIFICACIÓN DEL PROCESO**

Una vez que el producto ha sido cualificado, el siguiente paso de la validación es realizar la cualificación del proceso o del funcionamiento. Esta cualificación consiste básicamente en la obtención del mapa de dosis del producto y la definición de las especificaciones de proceso. Estas especificaciones incluyen:

- Los productos incluidos en la especificación.
- Máxima dosis permitida y dosis de tratamiento.
- El modelo de carga del producto y su configuración.
- La posición del dosímetro de rutina y relación entre dicha dosis y las máximas y mínimas recibidas por el producto.
- Parámetros de irradiación cualificados y sus tolerancias.
- Orientación y número de pasadas del producto bajo el haz.

Tras finalizada la cualificación, los resultados se recopilan en el Informe de Cualificación del Funcionamiento (ICF).

Una vez el proceso ha sido cualificado, cualquier cambio en la configuración del producto deberá ser evaluado y requerirá una nueva cualificación.

## **9. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ESTERILIZACIÓN**

El proceso de higienización en IONMED comienza con la llegada de productos a nuestra planta. El Sistema de Gestión da de alta los mismos y les asigna una posición de almacén. Sólo se podría proceder al tratamiento de los productos previamente validados y dados de alta en el sistema, de lo contrario el sistema no permitiría la irradiación en Producción.

Una instalación de esterilización mediante haz de electrones acelerados posee 3 parámetros esenciales que, junto con la velocidad de paso del producto bajo el haz, determinan la dosis que recibe. Estos son:

### **9.1. Energía de los electrones**

La energía de los electrones es el parámetro que determina su poder de penetración en la materia.

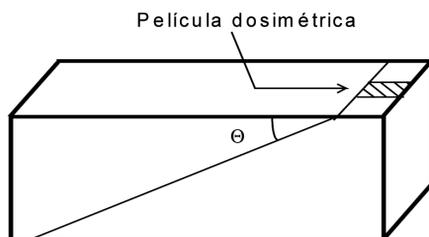


Figura 8

Esta energía se calcula mediante el trazado de la curva de penetración (Figura 8), bien con un dispositivo en forma de cuña de Aluminio o de Polietileno de alta densidad en la que se introduce una película dosimétrica permitiendo ésta medir las distintas dosis alcanzadas en función de la profundidad. La energía se calcula mediante unas fórmulas recogidas en la norma ASTM E 1649 en su apartado X3.

## 9.2. Potencia del haz

La potencia es proporcional a la tensión.

$$P = I \cdot V$$

donde:       $P$ :      Potencia en kW  
                  $I$ :      Intensidad en mA  
                  $V$ :      Tensión en MV

La tensión alterna que se genera en la cavidad coaxial con la frecuencia de la radiofrecuencia de 107 MHz es de 1 MV. La intensidad del haz es variable entre 0 y 8 mA consiguiéndose por ende una potencia de hasta 80 kW.

## 9.3. Longitud de barrido del haz

La longitud de barrido es un parámetro controlado por mediciones externas. Permite una concentración de los electrones en menor espacio provocando una mayor efectividad de la radiación sobre los materiales. Es regulable entre 30 y 103 cm en función de las dimensiones de las cajas tratadas. El barrido se consigue mediante la generación de un campo magnético alternante con una frecuencia de 100 Hz y perpendicular al plano de movimiento de los electrones. Los electrones abren sus trayectorias y se expanden en el cono de barrido, estructura de acero inoxidable 316L con forma de prisma triangular acabada en una lámina de 30 mm de Titanio.

## 9.4. Velocidad de tratamiento

La velocidad de paso de las Unidades de Tratamiento bajo el Haz es un parámetro que permite el control de la energía suministrada a los productos. El

control de esta velocidad conjuntamente con el de la intensidad es un parámetro bifactorial llamado Factor de Dosis controlado por el PLC del transportador y mantenido constante con un retraso inferior a 250 ms. La velocidad es variable entre 0.5 y 5 m/min y está controlada por unos variadores de velocidad con un error inferior al 1%. El valor real de movimiento de los motores es recogido por el PLC del transportador y enviado al PLC del acelerador que regula su intensidad en menos de 20 ms. El tiempo total de regulación serían esos 2 ciclos de PLC más esos 20 ms, en total no más de 250 ms.

La fórmula que recogería todos estos parámetros es la siguiente:

$$D = k \frac{P}{L_b \cdot v}$$

donde:  $D$ : Dosis absorbida en kGy  
 $k$ : Constante inherente al acelerador  
 $P$ : Potencia en kW  
 $L_b$ : Longitud de barrido  
 $v$ : Velocidad de Tratamiento

A cada caja de producto se le adhiere su propio código de barras y una vez leído se asigna a una bandeja de tal modo que se permite el seguimiento a lo largo del recorrido por el laberinto, un final de carrera justo antes de la zona de irradiación nos dice los valores de los anteriores parámetros que ha sufrido los productos. Estos valores son recogidos en soporte informático y en registro escrito y están a la disposición del cliente durante los 5 años siguientes a la irradiación, o bien, en algunos casos especiales, durante la vida útil del producto si esta supera dichos años.

Las lecturas dosimétricas se efectúan en el laboratorio de dosimetría y son supervisadas por nuestro sistema de garantía de calidad. Las aplicaciones de la dosimetría abarcan desde la Cualificación de la Instalación, hasta la Cualificación del Proceso, pasando por el Control Rutinario y la determinación de la dosis de esterilización, (dosis de verificación).

Una vez tratados los productos, se leen los códigos de barras de cada caja y el Sistema de Gestión asigna de nuevo un lugar del almacén, y espera, para ser liberado definitivamente, una orden del sistema de Garantía de Calidad de ION-MED si los resultados dosimétricos han sido correctos.

## 10. TRAZABILIDAD Y CONTROL DE PROCESO

### 10.1. Control de proceso

Se distinguen tres etapas en el proceso productivo de nuestra instalación:

### 10.1.1. Recepción

Cada envío de producto es objeto de los siguientes controles y verificaciones en el momento de la recepción en el almacén de entrada de la instalación:

- Identificación del producto recibido.
- Dimensiones y pesos de las cajas de transporte del producto.
- Identificación de posibles daños en el producto.
- Contabilidad del producto y comprobación con el albarán de entrada o la notificación de envío del cliente.
- Asignación de las especificaciones de proceso aplicables al producto.

Una vez identificados y verificados los productos, se les asigna un Lote de Producción que asegurará la trazabilidad del producto a lo largo de todo el proceso productivo. El lote de producción se define como el conjunto de producto o productos de un mismo cliente que por sus características, (densidades, dimensiones), requieren unos parámetros de tratamiento idénticos y son tratados en un mismo ciclo de irradiación.

### 10.1.2. Tratamiento y certificación

Después de la recepción del producto, se genera el documento Orden de Trabajo (OT) para cada Lote de Producción. La OT es el documento básico de proceso, que nos permite realizar el seguimiento del Lote de Producción desde su recepción hasta su envío. La OT es generada por el Dpto. de Operación y Mantenimiento y comprobada por el Dpto. de G<sup>a</sup> de Calidad y Seguridad. Una vez hecha la comprobación, el Lote de Producción queda listo para ser tratado.

El Lote de Producción se trata siguiendo las especificaciones de proceso indicadas en su OT. Tras el tratamiento, el Lote de producción no se libera hasta que no se comprueban los Informes dosimétricos de los dosímetros de rutina, el Informe de Proceso, (registro peramético del proceso) y los Informes de No Conformidad, si aplican. Una vez comprobada la anterior documentación, el Dpto. de G<sup>a</sup> de calidad emite el Certificado de Calidad correspondiente. En ese momento el Lote de Producción queda liberado.

### 10.1.3. Envío

La última etapa consiste en la preparación de la documentación para el envío del producto ya liberado, y su almacenamiento en el almacén de salida de la instalación hasta que el citado envío se produce.

## 10.2. Documentación de proceso

Para cada Lote de Producción, una vez liberado y enviado al cliente, se genera un Dossier Final de Irradiación (DFI). El DFI contiene los siguientes documentos y registros acumulados durante el proceso productivo:

- Orden de Trabajo.
- Informes dosimétricos de los dosímetros de rutina.
- Informe de proceso (registro paramétrico del proceso).
- Certificado de calidad.
- Informe de No Conformidad (si aplica).

El DFI se archiva en el Laboratorio de Dosimetría por un periodo no inferior a 5 años.

## 11. SISTEMAS DE DOSIMETRÍA

### 11.1. Descripción de los sistemas de dosimetría de la planta

Los sistemas de dosimetría con que cuenta nuestra la instalación están diseñados específicamente para irradiadores con fuente de haz de electrones. Estos sistemas han sido desarrollados para cumplir con la normativa aplicable a la validación y el control rutinario del proceso de esterilización por irradiación, (UNE\_EN\_552 y ANSI/AAMI/ISO 11137).

Dependiendo de su aplicación, contamos con los siguientes sistemas de dosimetría:

#### 11.1.1. Sistema de dosimetría de rutina

Este sistema está compuesto por los siguientes elementos:

##### - Dosímetros de triacetato de celulosa

CTA-125, de la marca Fuji, Japón. Se trata de una cinta de película para medida de dosis en continuo, que bajo la influencia de la radiación cambia sus propiedades de absorción óptica. Evaluando estos cambios a una determinada longitud de onda (280 nm), somos capaces de determinar la dosis absorbida en agua.

##### - Dosímetros radiocrómicos

FWT- 60.0, de la marca Far West Thecnology, USA. Se trata de una película,

(1x1cm), para medidas puntuales de dosis, con un principio de funcionamiento equivalente al de los dosímetros CTA-125, para una longitud de onda de 510 y 600nm.

- *Espectrofotómetro*

Genesys-5 de la marca Espectronic, USA. Este aparato tiene un rango de longitudes de onda de trabajo compatible con los dosímetros CTA-125 y FWT-60.0, capaz de suministrar las medidas de absorbancia con una incertidumbre  $DABS = 0,006$  para un nivel de confianza del 95%.

- *Medidor de espesores*

MFT 30 de la marca Käfer, Alemania, necesario para determinar la Absorbancia Específica (ABS/cm) de los dosímetros FWT-60.0. La incertidumbre de las medidas que suministra es  $Dt = 0,002$  mm para un nivel de confianza del 95%.

- *Software de Control y Gestión Dosimétrico*

Los anteriores equipos de medida están controlados por un software específico desarrollado por AERIAL, " Centre Régional d'Innovation et de Transfert de Technologie", Francia. Este software cuenta con las siguientes aplicaciones relacionadas con la Dosimetría:

- Calibración de los dosímetros de rutina.
- Medidas de Dosis puntuales (FWT- 60.0) y en continuo (CTA-125). Determinación de la energía de los electrones.
- Verificación de los equipos de medida.
- Gestión de informes dosimétricos, gráficas e incertidumbres de las medidas realizadas.

### 11.1.2. Sistema de dosimetría de referencia

Este sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- *Calorímetros de Poliestireno*

Fabricados por RISO "High Dose Reference Laboratory", este laboratorio de Dosimetría de referencia está acreditado por DANAK, entidad perteneciente a EAL (European Cooperation for Accreditation of Laboratories). Las medidas de dosis absorbida en agua que suministran estos calorímetros son trazables y consistentes con los patrones primarios en poder del "National Physical Laboratory" del Reino Unido. La incertidumbre total de la medida de dosis suministrada por

los calorímetros se encuentra entre un 2,8% y un 3,6%, para un nivel de confianza del 95%, dependiendo del rango de dosis en el que nos encontremos.

El factor de calibración que se aplica a los calorímetros para convertir el incremento de temperatura en Dosis absorbida se verifica en el laboratorio de referencia utilizando dosímetros de transferencia de Alanina de RISO.

- *Polímetro digital*

Fluke 8062A para la medida de la resistencia de los termistores de los calorímetros. Estos termistores, que se encuentran incorporados en el interior de los calorímetros, son los encargados de medir la temperatura a la que se encuentran los calorímetros. El principio de funcionamiento es sencillo; la resistencia de los termistores varía con la temperatura de una forma conocida, midiendo el incremento de resistencia producido por un campo de radiación obtenemos también el incremento de temperatura.

- *Programa Caldose v. 1.04 de RISO*

Para la determinación de la dosis absorbida a partir del incremento de temperatura.

## 11.2. Trazabilidad de las medidas de dosis

En el diagrama de la Fig. 9 se indica la cadena de trazabilidad para las medidas de dosis absorbida realizadas en la planta:

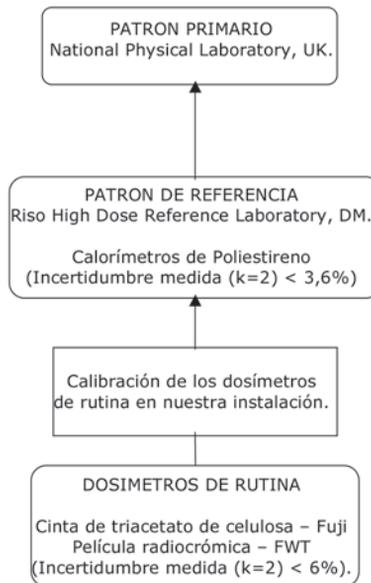


Figura 9 - Trazabilidad de las medidas de dosis absorbida.

### 11.3. Calibración de los dosímetros de rutina

La calibración de los dosímetros de rutina se realiza en nuestra instalación, tomando como dosis de referencia la suministrada por los calorímetros.

Este método de calibración presenta como ventaja fundamental, el hecho de que las condiciones medioambientales durante la calibración son las mismas que existen durante la producción rutinaria. De esta forma evitamos realizar correcciones de las medidas de dosis rutinarias debidas a factores ambientales, con la consiguiente mejora de la incertidumbre total de dichas medidas.

#### 11.3.1. Procedimiento de calibración

-Irradiación de los dosímetros de rutina junto con los calorímetros a diferentes dosis. Los dosímetros de rutina se colocan dentro de unos absorbentes, (piezas), de poliestireno para calibraciones con una geometría equivalente a la de los calorímetros. Así aseguramos que la dosis suministrada a los dosímetros de rutina y a los calorímetros es la misma.

-Análisis de los dosímetros de rutina y determinación de la curva de calibración. Para esta tarea se utiliza el software de Gestión y Control Dosimétrico de AERIAL, este programa está provisto de una aplicación para el ajuste de funciones polinómicas de hasta 5º orden a los datos experimentales por el método de mínimos cuadrados. La aplicación también nos permite evaluar la bondad del ajuste y determinar cual es la incertidumbre del mismo.

#### 11.3.2. Informe de calibración

Cada lote de dosímetros de rutina calibrado va acompañado del correspondiente informe que contiene los siguientes datos e información:

- Certificado de calibración de los dosímetros de referencia utilizados.
- Estado de verificación y calibración de los equipos de medida utilizados durante la calibración de los dosímetros de rutina.
- Parámetros utilizados para la irradiación conjunta de los calorímetros y los dosímetros de rutina.
- Tabla de datos experimentales obtenidos durante la calibración: dosis absorbida por los calorímetros y densidades ópticas de los dosímetros de rutina.
- Curva de calibración obtenida y referencia identificativa de la misma.
- Cálculo detallado de la incertidumbre total de la calibración.
- Protocolo de aceptación de la calibración.
- Periodo de validez de la calibración.

## Capítulo VII:

### **LAS APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS ALTAS PRESIONES**

---

#### **Carole Tonello Samson**

Departamento de Aplicaciones  
NC HYPERBARIC  
Condado de Treviño 59  
09001 Burgos. España.  
Tlfno.: +34-947298244. Fax: +34-947298111  
e-mail: c.tonello@correa.es

#### **1. INTRODUCCIÓN**

El procesado de alimentos por altas presiones hidrostáticas (entre 200 MPa y 600 MPa) es una novedosa tecnología que está siendo adoptada por la industria alimentaria principalmente con la finalidad de garantizar la seguridad alimentaria sin comprometer la frescura y calidad nutricional de los alimentos.

Para hacer frente al reto que supone la industrialización de la tecnología de las altas presiones para la industria alimentaria, NC Hyperbaric ([www.nchyperbaric.com](http://www.nchyperbaric.com)), empresa ubicada en Burgos (España), ha desarrollado desde 1999 un intenso esfuerzo investigador respecto al diseño y al proceso de fabricación de los componentes que constituyen los equipos de altas presiones. Este esfuerzo ha permitido a la empresa convertirse en 2005 en líder mundial del mercado de las máquinas industriales de altas presiones para alimentos.

#### **2. HISTORIA**

Las principales propiedades de las altas presiones hidrostáticas en el campo de las biociencias fueron descubiertas a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX.

ROGER, en 1895 en Francia descubrió que la presión podía inactivar bacterias. HITE, en E.E.U.U, fue el primer investigador que procesó alimentos bajo presión. Entre 1899 y 1914, presurizó leche, ensaladas y zumos de frutas, con el fin de darles más vida útil. Pero las altas presiones se quedaron a nivel de investigación en las biociencias hasta los años 80. Al contrario, desde los años 60 las industrias química y metalúrgica utilizaban industrialmente las altas presiones para fabricar piezas en cerámica, sintetizar cuarzo y dar forma a piezas metálicas.

Los primeros productos comerciales procesados por altas presiones (o presurizados) fueron lanzados al mercado japonés por la empresa MEIDI-YA en 1990. Eran purés de fresa, kiwi y manzana con una vida útil de 2 meses a temperatura de refrigeración. Esto fue el resultado de un ambicioso programa de investigación desarrollado por Japón durante los años 80 para encontrar una forma de pasteurizar alimentos sin calor. Se buscaba una alternativa al tratamiento por ionización, prohibido en este país desde la segunda guerra mundial.

Los primeros productos occidentales procesados por altas presiones fueron comercializados a partir de 1996 en Francia (zumos de cítricos de ULTI) y en E.E.U.U (guacamole de AVOMEX/FRESHERIZED FOODS). ESPAÑA, lanzando al mercado español en 1998 su jamón cocido pasteurizado por altas presiones después del envase, fue pionera al nivel mundial en el campo del procesado industrial de productos cárnicos.

### 3. PRESENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

#### 3.1. Unidades de presión

La unidad internacional de presión es el pascal (Pa) que corresponde a una fuerza de 1 N/m<sup>2</sup>. El megapascal (10<sup>6</sup> Pa o MPa) se suele utilizar más. Existen también otras unidades cuyo conversión es la siguiente :

$$0,1 \text{ MPa} = 1 \text{ bar} = 1,0197 \text{ kg.cm}^{-2} = 0,9869 \text{ atmósferas (atm)} = 14,504 \text{ lb/in}^{-2} \text{ (psi)}.$$

#### 3.2. Presión: definiciones y características

Es posible generar dos tipos de presión : la presión dinámica y la presión estática. En la presión dinámica, que puede alcanzar 1 millón de MPa, existe un tiempo muy corto durante una explosión que crea una onda de choque. Al contrario, la presión estática está generada de forma duradera en un volumen definido. Los dispositivos actuales permiten obtener presiones estáticas hasta 100.000 MPa.

La presión estática está aplicada por intermediación de un medio que puede ser sólido o fluido. Cuando el medio transmisor de presión es un sólido, el material presurizado está sometido a una presión no isostática, es decir dirigida

según varios ejes. Como es el caso de las prensas que moldean la carrocería de los coches, por ej. El producto está entonces aplastado y deformado por una presión no isostática.

Al contrario, cuando la presión se transmite por un fluido (gas o líquido) es isostática. Sigue la ley de PASCAL y tiene como características principales:

- Es idéntica en todos los puntos del volumen sometido a la presión.
- Se transmite de forma instantánea.

Como no hay gradiente de presión, el producto presurizado no está deformado. Su volumen se reduce bajo presión dependiendo de su grado de compresibilidad (de forma reversible a la despresurización).

En el campo de la alimentación, el agua es el único medio transmisor de presión utilizado industrialmente por razones sanitarias, de practicidad y por su módico coste. Por eso, a esta presión isostática transmitida por el agua se la llama con más precisión presión hidrostática.

La tabla 1 resume las características de la presión isostática comparada a las del calor. La comparación es interesante porque las altas presiones suelen ser utilizadas para reemplazar un tratamiento térmico.

PRESIÓN ISOSTÁTICA	CALOR
Transmisión instantánea	Transmisión retrasada
No gradientes de presión	Gradientes de temperatura
Idéntica en todos puntos	No uniforme
Duradera sin aporte energético	Mantenimiento exigente energía

*Tabla 1 - Comparativa de las principales características de los procesos por presión isostática y por calor.*

### 3.3. Principio del proceso

El proceso altas presiones en la industria alimentaria consiste en someter a los alimentos a una alta presión hidrostática en un rango que va desde 200 MPa hasta 600 MPa. Los productos están colocados en el seno de una cámara (o vasija) metálica cilíndrica de alta resistencia cuyo interior es de acero inoxidable. La presión está generada por uno o varios intensificadores de presión electro-hidráulicos (multiplicadores o bombas de alta presión) que envían el agua presurizada hasta el interior de la vasija a través de tubos de pared gruesa (cf. figura 1).

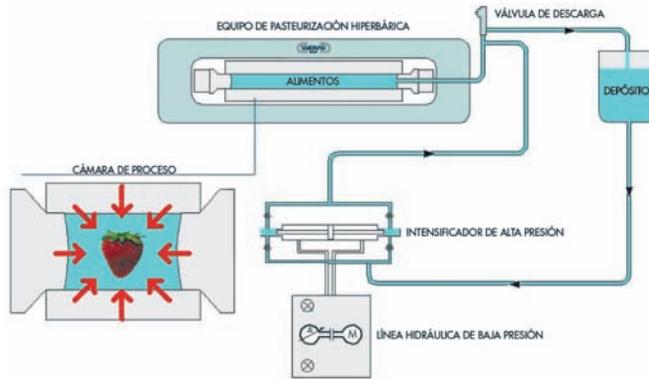


Figura 1 - Esquema de principio del procesado por altas presiones

El agua, bien directamente a través del recipiente flexible en el caso de alimentos envasados, o directamente al contacto con la concha o con el caparazón en el caso de mariscos crustáceos, transmite la presión de forma instantánea a todos los puntos del producto a tratar.

En los equipos industriales el tiempo de subida en presión es del orden de 1 min hasta 10 min. La presión se mantiene al nivel requerido durante un tiempo de procesado que varía según el tipo de producto tratado, generalmente de unos segundos hasta 15 min. Después se despresuriza la vasija, vaciándose en unos segundos el agua a través de una válvula de descarga hasta un depósito.

### 3.4. Campo de aplicaciones

Existen varios campos de aplicaciones donde la utilización de la presión es interesante. Están ya implantados al nivel industrial :

- La pasteurización en frío o a temperatura ambiente.
- La extracción de la carne de las conchas de moluscos.
- La modificación de la estructura de proteínas o de polisacáridos (precocción, modulación de actividades enzimáticas, mejora de texturas...).

La esterilización, la congelación y las descongelación asistidas por altas presiones son otras aplicaciones potenciales, que combinan calor o frío con la presión. Todavía no han llegado al nivel industrial porque requieren más investigación al nivel de proceso, producto y/o equipo.

### 3.5. Limitaciones y triunfos

De una manera general, la tecnología tiene varias limitaciones :

- Es muy difícil o imposible higienizar por presión productos secos (harina, pimienta, especias...) porque la presión no se transmite de forma isostática en un medio sólido como es el producto alimenticio seco. Cuanto más baja es la actividad del agua de un producto, menos efectivas son las altas presiones sobre la flora microbiana.

- Una presión superior a 200 o 300 MPa induce un cambio de color y de textura en los productos proteicos no estabilizados un poco parecido al efecto de un tratamiento térmico. Lo que impide la comercialización de carne o pescado fresco higienizado por altas presiones (que requiere un procesado entre 400 y 600 MPa).

- Es imposible destruir las esporas bacterianas y ciertas enzimas con AP, si no se combina un tratamiento por calor de mínimo 80°C. Una pasteurización sin calor por presión necesita conservar el producto a temperatura refrigerada para que no haya modificaciones enzimáticas de color o sabor.

- No existen dispositivos en continuo para productos líquidos que podrían permitir obtener el elevado caudal de producto procesado que necesita generalmente la industria de los zumos o de la leche, por ejemplo.

- Según la reglamentación europea de los Nuevos Alimentos (Novel Food Regulation nº258/97), el lanzamiento al mercado europeo de un producto procesado por una nueva tecnología (altas presiones u otra) necesita previamente la aprobación de un dossier científico que asegura de la inocuidad del producto, siempre cuando no exista un producto ya procesado industrialmente de forma similar en Europa. El coste de realización del dossier, así como el tiempo de espera cuanto a la respuesta oficial de la Agencia de Seguridad de los Alimentos, pueden constituir un freno para la adopción por la industria de la nueva tecnología.

- Las empresas pequeñas pueden tener dificultades para asumir el coste de inversión de un equipo que está en un rango de 0,5 hasta 1,5 millón de euros.

Los principales triunfos de las altas presiones son :

- La gama muy amplia de alimentos que se pueden procesar tanto respecto a su naturaleza (productos vegetales, cárnicos, pesqueros, lecheros...) como a su forma de presentación (alimentos líquidos, pastosos, sólidos o con trozos).

- La destrucción de microorganismos vegetativos contaminantes sin calentamiento del producto.

- La higienización del producto a través de la pared de su envase final, que maximiza la seguridad alimentaria evitando contaminaciones durante el proceso de envasado.

- La inocuidad de los productos procesados por presión demostrada por todos los estudios, así como la buena aceptación de la tecnología al nivel del consumidor y de la gran distribución (al contrario que la tecnología de ionización, por ej.).

- La simplicidad de implantación al nivel industrial, por la facilidad de poner a punto el proceso y de implantar el equipo en una línea de producción, sin medidas especiales de seguridad ni obras civiles.

- El número cada vez más grande de productos procesados por altas presiones que tienen éxito en el mercado por ser de mejor calidad organoléptica, más prácticos, más sanos (con menos aditivos químicos) o por tener propiedades funcionales.

## 4. EQUIPOS

Los equipos están constituidos por un grupo de intensificadores electrohidráulicos externos o un vástago interno a la vasija (según el tipo de compresión), una vasija en posición horizontal o vertical (según el diseño), dos tapones para el cierre de la vasija, un yugo para mantener los tapones cerrados cuando la vasija está bajo presión, un sistema de carga y de descarga de los productos de la vasija, un circuito de alta presión, un armario de mando y eventualmente un dispositivo de calentamiento o de enfriamiento de la vasija y/o del agua de proceso (Figura 2). La vasija, que constituye el corazón de el equipo, es siempre de forma cilíndrica por razones de mejor resistencia a la alta presión.

### 4.1. Sistemas de compresión

El sistema de compresión indirecto utiliza un intensificador de presión que envía el agua a una vasija de volumen fijo. Es el sistema utilizado industrialmente. Los productos colocados dentro de contenedores de plástico están cargados (automáticamente o manualmente) dentro de la vasija en posición abierta. Una vez cerrada, la vasija se llena de agua a baja presión que reemplaza el aire de alrededor de los productos y luego el intensificador de presión incrementa la presión enviando más agua dentro de la vasija de volumen constante. La velocidad de subida de la presión es del orden de 50 MPa hasta 250 MPa/min. La apertura de una(s) válvula(s) de despresurización permitirá la bajada de presión, en unos segundos, al final del tiempo de procesado a alta presión. La vasija puede luego abrirse para permitir la descarga de los contenedores de productos. Eso implica un proceso discontinuo y un coeficiente de llenado de la vasija por el producto (o volumen de carga del producto) entre 40% y 80% del volumen interno de la vasija. Cuando se procesan pequeños productos en envases individuales de 100 o 200 gramos por ej. que no encajan bien uno dentro del otro, el coeficiente de llenado de la vasija es del orden de 50%. Lo que quiere decir que en cada ciclo se procesan 150 Kg (semejantes a 150 L) en una vasija de 300 L de volumen.

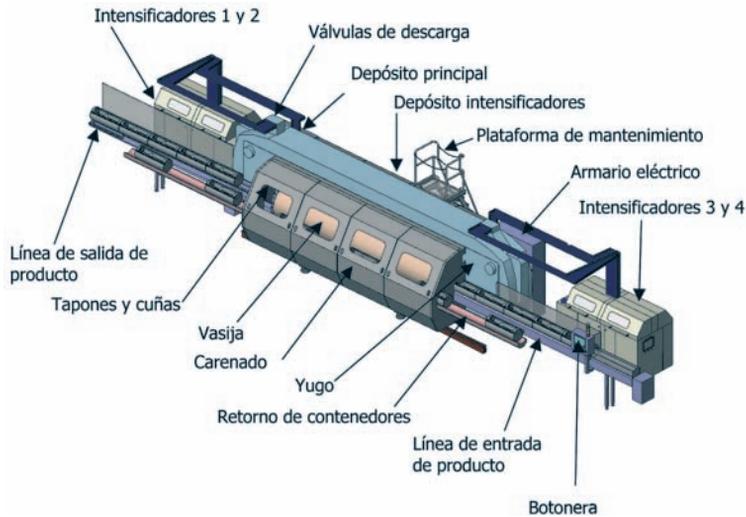


Figura 2 - Esquema de los diferentes componentes de un equipo de altas presiones (modelo Wave 6000/300 de NC Hyperbaric - Presión máxima de trabajo : 600 MPa - Volumen útil : 300 l).

Cuando la presión es generada por un vástago que reduce el volumen interno de la vasija, la compresión es directa. Este modo de presurización tiene dos ventajas. Permite una velocidad de subida de la presión mucho mayor (hasta 3000 MPa/min). Y, si el producto es un líquido, el coeficiente de llenado de la vasija es de 100%. En efecto, el líquido se puede procesar sin envase enviándolo directamente a la vasija (cuyo interior es de acero inoxidable de calidad alimentaria) por el intermediario de un sistema de válvulas. En este caso el proceso puede ser semi-continuo cuando el equipo dispone de una serie (en general 3 o 4) de vasijas que funcionan de forma intercalada. El llenado de la primera vasija a baja presión con el zumo, por ej., se hace mientras la segunda vasija está bajo presión y la tercera está vaciándose. Por supuesto, un sistema de envase aséptico es necesario a la salida del equipo semi-continuo de altas presiones.

Los sistemas con compresión directa son frecuentes entre los equipos de laboratorio. Pero no hay más de 3 o 4 en producción en la industria, y solamente procesando zumos. En primer lugar es porque no permiten producciones más elevadas que los equipos discontinuos. Están limitados a vasijas de diámetro reducido (<200 mm) y entonces de pequeño volumen. En efecto, la estanquidad bajo presión se hace con sistemas de cierre hermético (juntas) móviles, entre la pared de la vasija y el vástago. Esos sistemas son costosos, difícil de poner a punto y de mantener, más aún cuando el diámetro de la vasija es grande. En segundo lugar, es técnicamente complicado, pero es imprescindible, asegurarse de la perfecta limpieza y del perfecto cierre de las válvulas de altas presiones por donde pasa producto con partículas como el zumo con pulpa. Ya que una fuga podría entrar una contaminación de líquido procesado por el no procesado.

## 4.2. Diseño de los equipos

Los primeros equipos industriales de altas presiones fueron construidos por empresas proveedoras de equipos para las industrias químicas y metalúrgicas. Tenían un diseño clásico. Es decir una vasija en posición vertical con un solo tapón movable (el de arriba) para permitir la carga y la descarga de los productos. Este diseño sencillo presenta dos desventajas para la industria alimentaria. La primera es la posibilidad de confundir un producto procesado de uno que no lo es porque la carga y la descarga de los productos se hacen por el mismo lado de la vasija. La segunda es la dificultad de implantación en la fábrica. Un equipo de 215 L - 600 MPa por ej., tiene una altura de 6 metros y un peso de 40 toneladas repartidos sobre una pequeña área. La máquina tiene que estar instalada en dos plantas, y con un suelo especialmente reforzado.

Una de las principales innovaciones técnicas en cuanto a la adaptación de la tecnología al mundo de la alimentación fue proponer equipos con una disposición horizontal de la vasija, cuyos dos tapones se abren. A la vez que los productos a presurizar entran en la vasija por un lado de la máquina, por el otro lado salen los productos presurizados en el anterior ciclo (Figura 3). Eso permite maximizar la trazabilidad del producto. Además un equipo horizontal es más fácil de insertar y de instalar en la cadena productiva: cabe en una planta y su importante peso se reparte sobre una área más grande. Así no necesita obras civiles. Los últimos equipos, implantados entre 2004 y 2006, son en su mayoría equipos horizontales.

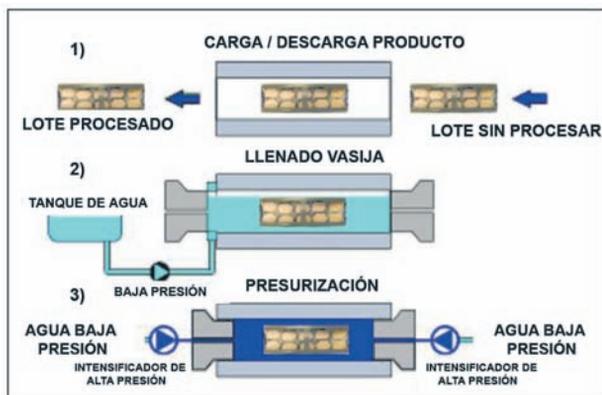


Figura 3 - Esquema del proceso de diseño horizontal de NC Hyperbaric.

## 4.3. Mantenimiento y dimensiones

Las piezas que se desgastan bajo presión, y que necesitan un mantenimiento periódico son:

- Las juntas de alta presión de intensificador de presión.
- Las piezas del sistema de cierre de las válvulas de anti-retorno (entre el intensificador y la vasija).
- Las juntas de los tapones de la vasija.
- Las piezas del sistema de cierre de la válvula de despresurización.

La parte más crítica (¡la más cara, la más pesada y la más difícil de fabricar!) del equipo es la vasija. Tiene que estar diseñada para resistir cientos de miles de ciclos de presión - descompresión. Para reducir la iniciación de grietas por fatiga mecánica, en su pared interna (debido a las tensiones muy elevadas que se producen bajo presión), se deben introducir tensiones residuales de compresión. En efecto, la parte interna de la vasija se fatiga mucho menos si está comprimida por su parte externa cuando está a presión atmosférica. Porque así una alta presión interna la pone en un estado de trabajo relajado. Existen diferentes formas de crear tensiones residuales de compresión. La más utilizada industrialmente, es el proceso de bobinado (o Wire winding). Se basa en enrollar con una determinada tensión unos kilómetros de alambre metálico de alta resistencia alrededor de la parte interna de la vasija. Mediante este método se puede aumentar de manera significativa la vida a fatiga de las vasijas y permite poder trabajar a presiones más elevadas con una vasija más ligera que con otros métodos.

Hoy, los tamaños más grandes de vasija son de 300 L a 600 MPa y de 675 L a 300 MPa con un diámetro de 300 mm hasta 390 mm. Para dar ejemplos más concretos de equipos industriales, a continuación se incluyen las características técnicas, datos de capacidad de producción de los diferentes modelos de NC Hyperbaric (Tabla 2).

Modelos NC Hyperbaric	6000/55	6000/135	6000/300	6000/300 Tandem
Volumen útil de vasija(s) (litros)	55	135	300	600 (300 x 2)
Diámetro interno de vasija (mm)	200	300	300	300
Peso total (toneladas)	20	43	65	130
Presión máx. de trabajo (MPa)	600	600	600	600
Potencia total (kW)	47	91	165	239
Tiempo de subida a 600 MPa (min)	3,9	4,8	5,3	3,6
Duración de ciclo a 600 MPa * (min)	6,1	7,3	8,2	6,5

\* : Tiempo de ciclo sin contar el tiempo de mantenimiento de la presión, calculado para producto envasado al vacío. Éste se divide en tiempo para subir la presión y el tiempo para el resto de movimientos de la máquina.

Tabla 2 - Modelos de NC Hyperbaric.

## 5. ENVASES

Es imperativo utilizar materiales flexibles para un procesado por altas presiones porque el producto alimenticio disminuye de volumen bajo presión. Los materiales rígidos conducen a la aparición de gradientes de presión que originan deformaciones irreversibles o ruptura del envase (como en el caso de una botella de vidrio con tapa metálica por ej.).

Los envases utilizados industrialmente son de plástico. La inmensa mayoría de los materiales plásticos funcionan muy bien bajo presión, aunque puedan aparecer con ciertos plásticos fenómenos de deslaminación. La presión, hasta por lo menos 600 MPa, no induce ni migraciones, ni modificaciones de las propiedades barreras o de las características mecánicas de los plásticos de uso corriente en la industria.

La inmensa mayoría de los productos procesados por AP son envasados con vacío en bolsas o barquetas flexibles y en envases "skin" o ("piel") que absorben de forma optimizada las deformaciones del producto presurizado pero sin aplastarlo como lo puede hacer un envase a vacío clásico.

Cada vez más salen al mercado productos procesados bajo presión después de su envasado con atmósfera modificada. Aunque pueda proceder de una decisión comercial (si el cliente está acostumbrado a un tipo de envase, es difícil cambiarlo), hay una ventaja técnica para productos cárnicos loncheados, en tiras o dados : se despegan o se desprenden más fácilmente. El aspecto y la facilidad de uso están mucho mejor. Pero hay dos desventajas en su utilización.

Primero, los envases con atmósfera modificada tienen que ser muy flexibles, porque la compresibilidad de los gases es muy grande. Concretamente bajo alta presión el volumen del gas reduce a cero (pero es un fenómeno completamente reversible a la despresurización). Entonces el envase se pega al producto como si fuera a vacío. Además el volumen del producto presurizado disminuye (de forma reversible también), lo que induce todavía más tensiones y deformaciones en el envase.

Segundo, la presencia de gas disminuye la producción por hora porque baja el coeficiente de llenado de la vasija y sube el tiempo de ciclo (por el tiempo que necesita la máquina para comprimir el gas).

## 6. REACCIONES FÍSICO-QUÍMICAS BAJO PRESIÓN

De forma general, la presión influye en todas las reacciones (físicas o químicas) que están acompañadas de una modificación de volumen. La evolución de las reacciones sigue el principio de LE CHATELIER que establece que "los fenómenos acompañados de un disminución de volumen están favorecidos por un aumento de presión, e inversamente".

## 6.1. Reacciones físicas

De un punto de vista físico, un aumento de presión contribuye a un acercamiento de la moléculas entre ellas. En efecto la presión aumenta porque se reduce el volumen donde están confinadas las moléculas, o porque hacemos entrar más moléculas en un volumen fijo. Este acercamiento intermolecular puede conducir a transiciones de fases (en general una transición de un estado líquido a un estado sólido cuyo volumen es menos grande) que son reversibles a la despresurización.

## 6.2. Reacciones químicas y bioquímicas

Químicamente el procesado por altas presiones es más suave que el calor. No se rompen los enlaces covalentes bajo presión porque esta ruptura se acompaña de un aumento de volumen. Pero los enlaces débiles pueden modificarse a veces de forma irreversible: son los enlaces de hidrógeno, iónicos e hidrófobos, que se encuentran en las macromoléculas como las proteínas y los polisacáridos.

## 6.3. Caso del agua

Las modificaciones de las características del agua bajo presión son importantes de señalar porque el agua es el principal constituyente de muchos alimentos y además es el fluido transmisor de presión.

La compresión y la descompresión se acompañan de un cambio de temperatura. En condiciones adiabáticas, el agua se calienta de 2 a 3 °C / 100 MPa durante la compresión, y se enfría del mismo valor a la descompresión. En la práctica la elevación de temperatura es más débil porque la pared de acero inoxidable de la vasija tiene una alta conductividad térmica que evacua el calor.

Al contrario de la enseñanza común, el agua es un líquido compresible, pero su compresibilidad es débil si se compara a la de los gases. Es de 4% a 100 MPa, 7% a 200 MPa, 11,5% a 400 MPa y 15 % a 600 MPa. La grasa es más compresible : hasta 30 o 35 % a 600 MPa.

El punto de fusión del agua baja hasta 210 MPa. A esta presión el agua es líquida a -22°C. En efecto, la transformación del agua en hielo se acompaña de un aumento de volumen (de más o menos 10%) que contrarresta la presión. A presiones superiores, la temperatura de fusión aumenta de nuevo porque los hielos formados son más densos que el agua. A +20°C el agua se transforma en sólido (¡hielo caliente!) a 884 MPa. Esas transiciones de fase podrían permitir aplicaciones en el campo de la congelación y la descongelación.

Desde un punto de vista químico la presión aumenta la ionización del agua, de las sales, ácidos y bases. Así el pH disminuye (del orden de 0,3 unidades / 100 MPa) porque la concentración de H<sup>+</sup> (y OH<sup>-</sup>) aumentan debido a la disociación de H<sub>2</sub>O.

## 7. EFECTOS DE LAS ALTAS PRESIONES SOBRE LOS COMPONENTES DE LOS ALIMENTOS

### 7.1. Moléculas de bajo peso molecular

Las moléculas de bajo peso molecular como las vitaminas, los azúcares simples (mono o disacáridos) y los ácidos grasos contienen solamente enlaces moleculares covalentes. Como la presión no rompe los enlaces covalentes (hasta 1000 MPa a temperatura ambiente), ni la estructura ni el nivel de esos componentes se ven afectados por la presurización.

### 7.2. Macromoléculas

Tampoco está afectada la estructura primaria de macromoléculas como proteínas o polisacáridos, hecha también por enlaces covalentes. Eso explica porque las altas presiones tienen tan poco efecto sobre el sabor. En efecto, la modificación de sabor de los alimentos después de un proceso suele provenir de la ruptura de enlaces covalentes en moléculas, que conduce a la formación de productos de degradación por el corte de la molécula inicial.

Al contrario, la estructura tridimensional de las macromoléculas está mantenida por enlaces débiles que pueden verse afectados por la presión. Los efectos varían según el tipo de macromoléculas (las estructura más gruesas y más complejas son más fácilmente desnaturalizadas) y las condiciones del medio (pH, temperatura, presión...).

En general, los fenómenos de desnaturalización que pueden conllevar una reducción total o parcial de la actividad en el caso de las enzimas, empiezan a partir de 150 MPa o 200 MPa. Pero ciertas pequeñas proteínas y enzimas de pequeño tamaño resisten presiones de 800 MPa.

La presión a menos de 1000 MPa no tiene efecto sobre el ADN. La molécula en doble hélice está estabilizado por enlaces de hidrógeno que están reforzados por la presión. Las altas presiones no tienen efecto mutágeno. Pero las interacciones entre ácidos nucleicos y proteínas en el ribosoma están desfavorecidas por la alta presión. Esto podría explicar por qué los organismos más resistentes a la presión (bacterias marinas de las fosas profundas) no son capaces de multiplicarse a más de 70 MPa.

## 8. EFECTOS DE LAS ALTAS PRESIONES SOBRE LOS MICROORGANISMOS CONTAMINANTES

La sensibilidad de los microorganismos vegetativos a las altas presiones es variable. Depende de las condiciones de proceso, del medio y del tipo de microorganismo. La muerte del microorganismo presurizado está provocada por cambios drásticos de la estructura de la membrana (aparición de poros) y por

destrucción de enzimas vitales, que impiden la reparación celular. No hay ruptura de la pared celular, como es el caso con altas presiones dinámicas (homogenización o descompresión explosiva), excepto en el caso de algunos mohos. De forma general a menos de +40°C, no ocurre ninguna reducción de la población de los microorganismos a menos de 150-200 MPa.

La destrucción es más importante y más rápida cuando el nivel de presión sube (siendo arriba de una presión mínima de sensibilidad que se sitúa en general entre 300 y 600 MPa). Si la temperatura de la muestra es homogénea y estable durante todo el tiempo de mantenimiento en presión, se pueden establecer, para cepas puras, cinéticas de destrucción de primer orden, y calcular valores de tiempo de reducción decimal ( $D$  = tiempo en minutos necesario para reducir la población microbiana de un factor 10 o de  $1 \log_{10}$  ufc/g).

### 8.1. Parásitos

Los parásitos son los organismos más evolucionados, más complejos que se pueden encontrar en los alimentos. Son también los que se destruyen en pocos minutos con presiones más bajas : 150 MPa para *Trichinella spiralis* en el tejido muscular, o 250 MPa para *Anisakis simplex* en el pescado.

### 8.2. Bacterias vegetativas

Los estudios establecen una sensibilidad más grande a la presión de las bacterias Gram - que de las Gram + y de los bacilos que de los cocos. Por ej., la fracción de la flora endógena no esporulada de la leche cruda que es capaz de resistir a 800 MPa está constituida exclusivamente de cocos Gram + (*Micrococcus* y *Microbacterium*). Pero no se puede generalizar, porque la baroresistencia puede a veces variar para una misma bacteria de una cepa a otra o de un serotipo a otro. La resistencia a la presión no tiene correlación con la termoresistencia.

La microflora endógena contaminante y las bacterias patógenas en los alimentos se reducen de 2 hasta más de  $8 \log_{10}$  ufc/g con procesos de unos minutos entre 400 MPa y 600 MPa.

### 8.3. Levaduras y mohos

Las levaduras y los mohos se destruyen más rápidamente que las bacterias vegetativas y con presiones un poco más bajas, entre 300 y 500 MPa. Las formas vegetativas son menos resistentes que las ascosporas. Sin embargo la baroresistencia de las ascosporas no tiene nada de comparable con la de las esporas bacterianas.

### 8.4. Esporas bacterianas

Las endosporas bacterianas, forma de resistencia de ciertas bacterias Gram + (*Clostridium* y *Bacillus*), son muy resistentes a la presión así como a todos los agentes agresivos (calor, radiaciones o compuestos químicos). Esta resistencia

proveniría de su muy bajo contenido en agua y de la presencia de ácido dipicolínico en su pared que protege de la solvatación y de las reacciones de ionización excesivas. A temperatura inferior a 45°C, presiones de 800 o 1000 MPa no permiten una inactivación significativa de las endosporas. La esterilización asistida por presión podría requerir por lo menos un procesado combinado a más de +80°C y más de 600 MPa.

Sin embargo una presión moderada entre 20 y 300 MPa es un iniciador de germinación de las esporas. Este fenómeno transforma la espora en una bacteria vegetativa más sensible a la presurización. Es un medio de destrucción de esporas que se asemeja, por analogía al tratamiento térmico, al proceso de tyndalización (prohibido en alimentación por el riesgo de producción de toxinas termoresistentes durante la fase de germinación).

## 8.5. Virus

La sensibilidad de los virus a la presión parece situarse en el mismo rango que la de las bacterias vegetativas. Pero existen mucho menos estudios sobre virus, y especialmente virus de importancia en la alimentación que sobre otros microorganismos. A título de ej., el virus Norwalk, que provoca epidemias humanas por su presencia en ostras que se consumen crudas, se destruye a más de 320 MPa. El virus de la influenza aviar A se reduce de  $5 \log_{10}$  ufp/g en carne de pollo procesada a 400 MPa a + 20°C.

## 9. APLICACIONES COMERCIALES

Las altas presiones, actuando sobre moléculas y microorganismos, tienen varias aplicaciones bastante diferentes unas de otras. Algunas están ya en la industria, otras se quedan todavía al nivel de investigación.

### 9.1. Pasteurización en frío

La pasteurización en frío (o a temperatura ambiente) después del envase es la principal aplicación industrial de la tecnología. La presión se utiliza para productos que sufren mucho en caso de proceso térmico porque cambian de sabor, color o textura, exudan, pierden sus propiedades nutricionales o funcionales... Se aplica a alimentos vegetales crudos, pero a productos cárnicos o pesqueros cocidos o curado. La diferencia viene del nivel en proteínas (o polisacáridos). En efecto, las proteínas crudas están modificadas (cambio de color y coagulación) a presiones superiores a 200 MPa o 300 MPa. Al contrario, la presión no tiene efectos visibles sobre proteínas ya estabilizadas por cocción o curación.

La contaminación en microorganismos vegetativos, parásitos y virus del producto se reduce gracias a la aplicación de 400 MPa hasta 600 MPa durante unos segundos hasta 15 minutos. No es una esterilización: quedan enzimas y microorganismos activos en el producto, como es el caso con la pasteurización

térmica. Más intenso es el procesado, menos microorganismos son capaces de repararse y de sobrevivir, y más larga es la vida útil. En general se multiplica por 2 ó 3, si se compara con el mismo producto no procesado. Lo que corresponde a un periodo entre 3 semanas y 3 meses, dependiendo del alimento. Pero, en todos los casos el producto se tiene que conservar a temperatura de refrigeración para evitar / ralentizar la alteración enzimática y el crecimiento de los microorganismos, especialmente las esporas bacterianas.

Se pasteurizan por altas presiones más de cien productos diferentes: zumos de fruta o de verduras, purés de frutas o vegetales (incluyendo el "famoso" guacamole), salsas, bacalao desalado, platos precocinados variados compuestos de pescado, carne, vegetales, pasta..., lonchas o dados de carne cocida de pollo, cerdo y pavo, embutidos como chorizo, jamón curado o cocido, salchichas, quesos untables con ingredientes...

## **9.2. Extracción de la carne de moluscos**

Las presiones entre 250 y 300 MPa entre unos segundos y 2 minutos permiten abrir las conchas de bivalvos (ostras, mejillones, vieiras...) porque se desnaturaliza el músculo aductor de los animales. A la salida del proceso, las conchas se abren a mano y la carne del molusco cae sin esfuerzo. Con las mismas condiciones de procesado, se extrae la carne de crustáceos como bogavante, langostas o cangrejos. Bajo presión la carne de esos animales se comprime cerca de un 10 %, pero la cáscara rígida no. Esto entraña un despegue de la carne de la cáscara, que se puede extraer manualmente de forma muy fácil.

Como las presiones no son muy elevadas, se conservan el color y la textura del producto fresco. En este caso, los mariscos se procesan a granel en el equipo. El agua de presurización tiene que penetrar dentro de la concha (o de la cáscara) para equilibrar la presión con el exterior. Lo que impide un envase. Si no hay equilibrio de presión, el líquido y la carne que están dentro la concha (o de la cáscara) al comprimirse inducen la ruptura de la concha (o de la cáscara) que no es flexible.

La carne de bivalvos extraída viene luego envasada, y comercializada en fresco, o en congelado para ser cocinada justo antes de su consumo. El ahorro al nivel de coste en personal es muy grande, y la calidad es mayor: no hay trazas de conchas en la carne.

El rendimiento en carne de los crustáceos es mucho mayor cuando la extracción se hace por presión que manualmente después de una cocción (entre 30 y 45 % más para el bogavante). Pero lo más interesante es que la presurización permite evitar la cocción previa a la extracción. Es la única tecnología que permite ofrecer carne de crustáceos cruda fresca o congelada. Sin proceso (térmico o por presión) es imposible sacar manualmente la carne de los crustáceos de su cáscara. La calidad gustativa de la carne de mariscos está preservada por una única cocción, justo antes de su consumo.

Esta aplicación de las altas presiones no está desarrollada industrialmente en Europa. Pero existen una docena de empresas que la utilizan en EEUU, Canadá, Corea y Japón donde se pescan los crustáceos o donde existe una cultura de comida de bivalvos preparados envasados.

### 9.3. Modificaciones de macromoléculas

Las aplicaciones, en cuanto a modificaciones de macromoléculas, se encuentran principalmente en los campos de modulación de actividades enzimáticas (en general lo que se busca es la inactivación) o de la creación de texturas diferentes con proteínas o polisacáridos, o bien en la reducción de la alergenicidad de proteínas. Generalmente son beneficios adicionales al efecto pasteurizante.

En el caso del guacamole, por ejemplo, un proceso de 3 min a 600 MPa permite reducir de más de 90% la actividad de la polifenoloxidasas, enzima responsable del ennegrecimiento del aguacate en contacto con el oxígeno del aire.

Cuando se añaden pectinas a los purés de frutas procesados por altas presiones, se transforman en mermeladas, pero conservando el sabor de la fruta fresca. Tanto la presión como el calor inducen la solidificación de las pectinas. La modificación de la textura no es el principal efecto buscado, pero una textura adecuada participa en la calidad sensorial del producto.

El desarrollo industrial más complejo en este tema está conducido en Japón por la empresa ECHIGO-SEIKA, que tiene varias patentes sobre el procesamiento de arroz principalmente pero también de cereales y legumbres por altas presiones. Consiste en un pre-tratamiento por presiones moderadas (entre 200 MPa y 400 MPa) durante unos minutos a una temperatura del orden de +45°C, seguido de una esterilización térmica.

El arroz (o el cereal, o la legumbre) en grano se procesa sumergido en agua. La presión permite incrementar la penetración del agua en el grano, porque rompe la pared celular del cereal. Ésta ruptura facilita la cocción posterior, mejora la textura y limita el fenómeno de retrogradación del almidón durante el periodo de almacenamiento. Después de un calentamiento de 3 minutos al micro-ondas, el producto está listo para consumir.

En el caso del arroz moreno, el procesamiento mejora además la digestibilidad y la producción de ácido amino gamma butírico (GABA). Esta molécula que tiene propiedades funcionales como la reducción de la presión sanguínea o la mejora de funciones del hígado. Está producida cuando el ácido glutámico está en contacto con una enzima de la pared celular.

ECHIGO-SEIKA tiene también una patente sobre la reducción de la alergenicidad del arroz con altas presiones. La estructura tridimensional de la proteína responsable de la respuesta alérgica se modifica durante el proceso. Esta nueva estructura no conlleva respuesta del sistema inmunitario. Estudios muy recientes

corroboran el efecto con alérgenos relacionados con la alergia al polen de abedul, la alergia a la manzana, la avellana, la cereza, la zanahoria, el melocotón y el apio. La gente alérgica a esas frutas, no reacciona o muy poco cuando comen la misma fruta procesada por altas presiones. Más sorprendente, se demostró que la alergia a la manzana puede desaparecer con la toma prescrita de manzana procesada por altas presiones (25g g/ día durante 3 semanas). Se produce un fenómeno de hiposensibilización.

## 10. APLICACIONES FUTURAS

### 10.1 Esterilización

Es una aplicación con un potencial industrial muy importante, que está al nivel de investigación. Se busca una forma de procesar alimentos de pH alto (no ácidos) para que mantenga su calidad organoléptica cerca de las de un producto fresco o pasteurizado, pero que sea estéril, es decir estable a temperatura ambiente durante meses o años.

El principio es que para destruir las esporas bacterianas y obtener la esterilidad, se necesita combinar presión y temperatura. La temperatura mínima parece ser de 80°C al inicio del ciclo. Bajo presión se va alcanzar en unos minutos más de 110°C (el tiempo de la subida en presión), por calentamiento adiabático. El producto vuelve a 80°C en unos segundos, el tiempo que dura la despresurización, y eso en todo su volumen. La ventaja es la rapidez de cambio de temperatura, que preserva la frescura del producto de los daños del calor.

La aplicación no ha entrado todavía en la industria por varios factores :

- Los estudios en curso no consiguen poner en evidencia una clara sinergia entre presión y calor en cuanto a destrucción de esporas, lo que se esperaba para conseguir reducir duración e intensidad del tratamiento térmico.

- La temperatura en todos los puntos de la vasija así como en el producto es difícil de medir y controlar bajo presión. Pero esta medida, este control son indispensables para asegurarse de la reproducibilidad y la homogeneidad de esos procesos esterilizantes.

- Las esporas de *Clostridium botulinum* son las más resistentes a las altas presiones que se conocen de momento. Se sigue buscando otro microorganismo esporulado no patógeno sustituto (normalmente un poco más resistente para tener un margen de seguridad) que permitirá estudiar más fácilmente la esterilización. De momento, hay muy pocos laboratorios en el mundo que tienen el nivel de protección adecuado para trabajar con *Clostridium botulinum* y que poseen a la vez un equipo de altas presiones y altas temperaturas, lo que limita considerablemente la investigación.

- La industrialización podría ser complicada o costosa una vez el procesado esté a punto, porque la esterilización asistida por altas presiones, declinada en diferentes variantes, está protegida por tres patentes que pertenecen dos de ellas a UNILEVER y una a MASTERFOODS.

## 10.2. Congelación - descongelación

Procesos combinando presión y temperatura se están investigando para mejorar la velocidad y la calidad de congelación o de descongelación. El punto de fusión del agua va bajando con el incremento de presión hasta 210 MPa (Figura 4). A esta presión, el agua es líquido a  $-22^{\circ}\text{C}$ . Hay que entender que es un fenómeno completamente reversible con la despresurización, si no hay cambios de temperatura del producto bajo presión.

En el proceso de congelación inducido por altas presiones, el producto que queremos congelar se presuriza hasta 150 MPa o 200 MPa, por ejemplo. Bajo presión se tiene que enfriar hasta alcanzar la temperatura negativa deseada ( $-15^{\circ}\text{C}$ , por ej.). El agua que contiene sigue al estado líquido durante todo el

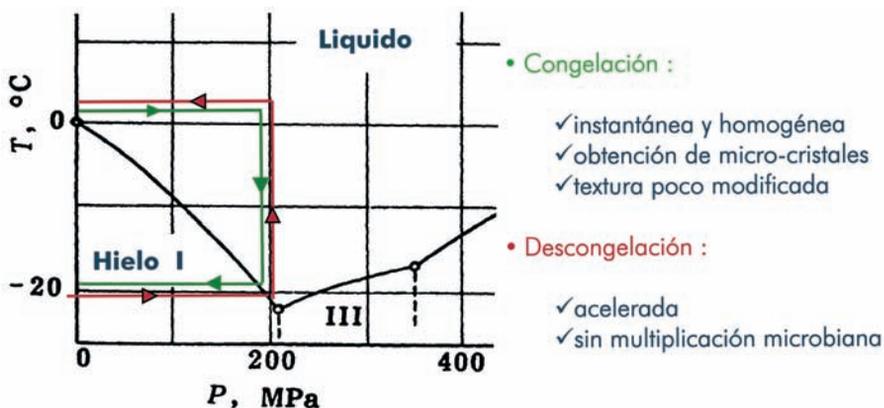


Figura 4 - Diagrama de fases del agua (Makita, 1992) y principios de congelación y descongelación con altas presiones.

proceso de enfriamiento, por la alta presión. Cuando el producto está en temperatura negativa hasta su corazón, se procede a la despresurización. En unos segundos se inicia el proceso de congelación. Si la despresurización se hace cuando la temperatura es homogénea en todo el volumen del producto, la cristalización es homogénea. El tamaño de los cristales de hielo obtenidos es muy pequeño, entonces la textura del producto está muy parecida a la textura del mismo producto fresco. Algunos estudios destacan que la calidad de congelación con altas presiones es mejor con a una inmersión en nitrógeno líquido.

El principio de la descongelación asistida por altas presiones es el inverso del precedente procesado. El alimento congelado se descongela de forma instantánea con la subida de presión. Para que no recongele instantáneamente a la despresurización, se tienen que calentar. El calentamiento del producto bajo presión es más rápido que si estuviera congelado porque la conductibilidad térmica del producto fresco es más elevada que la del producto congelado. Además, como todo el proceso se pasa bajo 150 MPa o 200 MPa, no hay posibilidades de crecimiento de microorganismos. La calidad microbiológica del producto no empeora como es el caso en general en los procesos clásicos de descongelación.

Los impedimentos para pasar al nivel industrial están al nivel de la duración del ciclo de proceso y de la fabricación de equipos adaptados. Los procesos desarrollados a nivel de laboratorio duran entre 30 minutos y varias horas para congelar o descongelar pequeñas cantidades de alimentos. La presión sube o baja en minutos o segundos, pero el intercambio de calor para enfriar o calentar el producto bajo presión necesita mucho tiempo. Las duraciones de ciclos estimadas para cantidades industriales serían todavía más largas. Con esas condiciones de proceso, sería muy difícil amortizar un equipo industrial porque la producción por hora resultante sería muy baja.

## 11. PRODUCTOS COMERCIALES EN EL MUNDO

Desde el inicio de este milenio, se observa un significativo incremento del interés de la industria alimentaria por las altas presiones: el 95% de los equipos industriales en funcionamiento se instalaron a partir del 2000. En el 2006, alrededor de 95 equipos industriales estaban siendo utilizados por 60 compañías en todo el mundo para el procesamiento de aprox. 120.000 toneladas de alimentos y 150 productos diferentes. La figura 5 detalla la repartición de los equipos industriales por sectores de alimentación y por continentes.

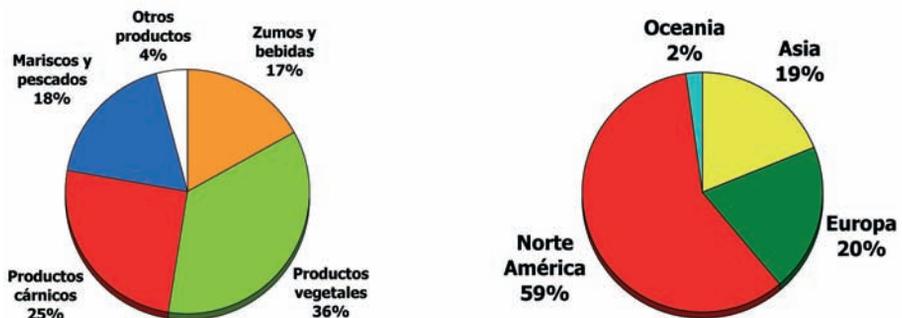


Figura 5 - Repartición del parque mundial de equipos industriales de altas presiones por continentes y por sectores de la alimentación (en %).

En función del sector alimentario, la distribución es la siguiente: el 36% de los equipos procesan productos vegetales (guacamole, salsas, purés, arroz...), el 25% se encuentran instalados en empresas cárnicas (jamón cocido o curado, productos de pollo y pavo, platos precocinados, salchichas, etc), el 17% son utilizados para el tratamiento de zumos y bebidas (principalmente zumos naturales de cítricos o de manzana), y también otro 18% se dedican a presurizar productos pesqueros (bogavantes, ostras, otros mariscos y productos preparados a base de pescado). Otros equipos son máquinas instaladas en empresas especializadas en el procesado por altas presiones que procesan para los fabricantes diferentes tipos de productos, y finalmente existen unos pocos equipos que procesan productos lácteos (quesos untables con ingredientes y bebidas fermentadas).

### 11.1. Norteamérica

Norteamérica tiene casi 60% del parque mundial de equipos industriales de altas presiones, están en mayoría en EEUU pero también en México y Canadá, dos países que exportan mucho en EEUU y que aplican su legislación.

El procesado por altas presiones está reconocido por la FSIS (Food Standard and Inspection Service), y recomendado como tratamiento de pasteurización después del envase para destruir *Listeria monocytogenes* en productos cárnicos listos para consumir. La legislación estadounidense, severa por lo que refiere el nivel de contaminación microbiológica, así como por una nueva tendencia del mercado para reducir los aditivos químicos, facilitan la implantación de las AP en la industria, especialmente cárnica. La presión se utiliza principalmente para higienizar los productos loncheados o en dados, que están considerados como muy arriesgados. Empresas como HORMEL FOODS o PERDUE FOODS integraron por eso la tecnología en sus líneas de producción desde 2001. Les permitió sacar al mercado productos sin aditivos químicos con 2 o 3 meses de vida útil, reivindicando productos más naturales y muy seguros (la gama de HORMEL se llama: "Natural Choice"). En 2007, TYSON FOODS, la empresa cárnica más grande del mundo, sacará al mercado un pollo asado entero higienizado por altas presiones y MAPLE LEAF, el líder del procesado de la carne en Canadá, una gama de platos listos para consumir.

El producto que tiene más éxito comercial en Norte América es el guacamole. Este puré de aguacate con especias está procesado en México, país que tiene la materia prima de buena calidad y barata (así como la mano de obra). Luego se exporta a EEUU donde se aprecia mucho la comida Tex-Mex. Varias empresas están en este mercado pero la marca más conocida es AVOCCLASSIC, de la empresa AVOMEX / FRESHERIZED FOODS. Las altas presiones permiten dar entre un mes y dos meses de vida útil a este producto (envasado con vacío en una bolsa) que conserva su sabor natural y su aspecto fresco, especialmente su color verde (Figura 6). El mismo producto, fresco (no procesado) no se podría comercializar porque tendría una semana de vida útil y no sería seguro al nivel de una posible contaminación con un microorganismo patógeno. La otras posibilidades

para la conservación del guacamole son la congelación o la pasteurización por calor, pero dañan mucho el producto en cuanto a textura, color y sabor. Las altas presiones fueron por eso una revolución en el proceso de este producto. AVO-MEX, que fue la primera empresa en poner el guacamole procesado por altas presiones sobre el mercado, se convirtió en pocos años en el gran líder del sector, por el crecimiento de las ventas del producto procesado por altas presiones en detrimento del congelado o pasteurizado por calor. Luego la empresa extendió su gama de productos a zumos, salsas y platos pre-cocinados, todos procesados por altas presiones. Hoy es la empresa del mundo que tiene más capacidad de procesamiento, con 13 equipos de altas presiones de un volumen total de unos 2500 litros (a 600 MPa).

Las altas presiones se utilizan industrialmente en Norte América también para abrir caparazones de mariscos o extraer la carne de bivalvos. El procesamiento está homologado por los servicios sanitarios de EEUU para la inactivación de *Vibrio vulnificus* en ostras. Esta bacteria acuática provocó la enfermedad de más de 200 consumidores de ostras (hasta la muerte de una persona) en EEUU en los años 80. Lo que conllevó una crisis grave en el sector, que respondió buscando soluciones técnicas para garantizar la eliminación de este patógeno. Las altas presiones fueron escogidas por su eficiencia sobre el patógeno, pero también porque permiten abrir las conchas.



Figura 6 - Guacamole procesado por altas presiones por AVOMEX / FRESHERIZED FOODS.

## 11.2. Europa

A finales de 2006, Europa cuenta con 20% de los equipos instalados en el mundo. España es el líder europeo con 8 equipos industriales. 4 empresas españolas utilizan la pasteurización por altas presiones : CAMPOFRIO y ESPUÑA para productos cárnicos (Figura 7), IAN para productos vegetales y RODILLA para productos untables para sándwiches (basados en queso o mayonesa). Hay 4 máquinas en producción en Italia, 2 en Portugal y 2 en Francia. Alemania, República Checa y Reino Unido tienen cada uno una máquina. Los productos procesados en Europa son en mayoría alimentos cárnicos o zumos de frutas o vegetales.



Figura 7 - Tapas procesadas por altas presiones por ESPUÑA

Los productos cárnicos cocidos se benefician del procesado por mejora de vida útil o de calidad microbiana, especialmente los productos loncheados, que constituyen la mayoría del tonelaje. Las altas presiones se utilizan para embutidos curados para poder exportarlos a EEUU y a todos los países que siguen su legislación (Canadá, Australia, Japón..). Esos países exigen productos libres de *Listeria monocytogenes*. Como es muy difícil evitar su presencia a nivel muy bajo después de meses de curación, las altas presiones son la única opción para asegurar la perennidad de las exportaciones.

Diferentes tipos de zumos se procesan en Europa, en general por empresas pequeñas, o cooperativas agrícolas. Son zumos de cítricos en Francia y de manzana en Portugal. Este último producto es exportado desde el verano 2006 a España (marca COPPA). La gama de zumos en el mercado checo está orientada a un beneficio para la salud. Comprende zumos de zanahoria, de remolacha y de brécol con manzana. El zumo de brécol en particular contiene componentes anti-cancer, que desaparecen con un tratamiento térmico, pero que no están afectados por la presión. El beneficio para el salud del zumo de brécol con manzana procesado por altas presiones está reconocido oficialmente para el ministerio checo de la Salud.

### 11.3. Asia

En Asia, que tiene 19% del parque mundial, es Japón que posee la mayoría de los equipos del continente, con 10 máquinas industriales. Además, existen 5 máquinas en Corea, 2 en China y una en Líbano.

Japón empezó al inicio de los años 1990 con purés y zumos de frutas. En los mismos años, se desarrollaron ahí otros productos (productos cárnicos o pesqueros, bebidas...) que en su mayoría no pasaron las pruebas de mercado test, por reglamentación o por precio principalmente. Los equipos disponibles (en realidad prototipos) eran de pequeño tamaño, generando poca producción y costes de utilización elevados. El mercado estando limitado a unas máquinas

por años, la tecnología cesó de interesar a los proveedores nipones de equipos implicados al inicio : las grandes empresas MITSUBISHI o KOBE STEEL. Como los equipos no iban progresando, la industria alimentaria se desinteresó también del tema.

Al igual que el resto del mundo, es solamente desde el año 2000 cuando se industrializó la tecnología en Asia. Por ejemplo ITOHAM, segunda empresa de cárnicos de Japón lanzó el año pasado una gama de productos sin nitritos estabilizados gracias a las altas presiones. Un máquina se instaló al inicio de este año en Corea para el procesado de bivalvos. Pero, el tonelaje más importante proviene del procesado del arroz listo para consumir. Su procesado ocupa 10 de la 18 máquinas asiáticas. En Japón, ECHIGO-SEIKA comercializó 2400 toneladas de arroz procesado por altas presiones durante el año 2006 (Figura 8).



*Figura 8 - Arroz listo para consumir procesado por altas presiones por ECHIGO-SEIKA.*

#### **11.4. Otros continentes**

Las 2 máquinas de Oceanía están instaladas en Nueva Zelanda. Una primera abre mejillones para aplicaciones nutracéuticas, la segunda higieniza bebidas funcionales y productos lácteos fermentados. No hay máquinas industriales (ni tampoco máquinas de laboratorio) ni en América del Sur, ni en África. Está claro que de momento las altas presiones son una tecnología para países económicamente desarrollados.

#### **12. COSTE DE LOS EQUIPOS Y DEL PROCESO**

La tecnología de altas presiones es más costosa que la térmica, en razón del precio de los equipos. En 2006, el rango de precio de equipos industriales empieza con 0,5 millones de euros para máquinas produciendo desde 100 Kg/hora hasta 300 Kg/hora (equipadas con vasijas de 35 l hasta 55 l). Un equipo de 300 l, produciendo 700 - 1000 Kg/ hora cuesta del orden de 1,5 millones de euros (Figura 9).



Figura 9 - Equipo industrial de altas presiones (modelo Wave 6000/300 de NC Hyperbaric -  
Presión máxima de trabajo : 600 MPa - Volumen útil : 300 l)

El coste de proceso depende de la duración del tiempo de ciclo, y del coeficiente de llenado de la vasija, del coste de las piezas consumibles, del coste energético así como del periodo de amortización del precio de la máquina. El coste energético y el consumo del agua no son relevantes, en el caso de las altas presiones. El coste de personal depende del nivel de automatización de la carga y de la descarga de productos en los contenedores.

El tiempo de ciclo está compuesto por los tiempos de:

- Carga/descarga de los contenedores de productos en la máquina,
- Máquina (movimiento de vasija o de yugo, cerradura de tapones, llenado de agua a baja presión...
- Subida en presión (que depende de la eficacia y de la potencia de los intensificadores así como del nivel de presión que se requiere),
- Mantenimiento a la presión de proceso,
- Despresurización.

El coeficiente de llenado depende principalmente de la geometría del envase del producto. Con bolsas flexibles se puede llegar hasta 80% (240 l o Kg de producto neto caben en una vasija de 300 l, por ej.). Para productos envasados por unidades de 250 g, o botellas, el coeficiente se acerca más a 50%. Cuanto más grande es el diámetro, menos espacios hay no ocupados dentro de la vasija. La cantidad de producto dentro de la vasija no influye ni el tiempo de ciclo (excepto para los productos envasados en atmósfera modificada) ni la eficiencia del proceso. Así que el interés de la empresa es de maximizar el llenado de la vasija para incrementar la producción por hora y bajar el coste de proceso / Kg o l.

La tabla 3 da un ejemplo de costes de proceso a 600 MPa, como podría ser el de un producto cárnico loncheado. En el caso de un líquido con pH bajo (un zumo de fruta por ej.) envasado en bolsa flexible, permitiendo alcanzar 80% de coeficiente de llenado, y procesado a 450 MPa durante 1 minuto, la producción sería el doble del ejemplo precedente, y el coste / litro sería dividido por dos.

Modelos NC Hyperbaric	6000/55	6000/135	6000/300	6000/300 Tandem
Producción* (kg/h)	180	400	800	1900
Producción* (toneladas/año)	800	1800	3600	8500
Coste de proceso # (€/kg o L)	0,19	0,16	0,11	0,09

\* : Cálculos con un procesado de 3 minutos a 600 MPa con un coeficiente de llenado de la vasija de 50%.

# : Cálculos sobre 5 años de amortización del equipo trabajando, 280 días/año, 16 h/día y costes de piezas consumibles incluidos.

Tabla 3 - Coste del proceso con los equipos de NC Hyperbaric

### 13. CONCLUSIÓN

Las altas presiones son una técnica de futuro para la industria alimentaria. No es universal, y como todo proceso tiene límites. Su fuerza es que se puede aplicar a muchos productos diferentes para preservar su calidad o mejorar su proceso de fabricación. Permite el desarrollo de nuevos productos, más prácticos, más seguros, con menos aditivos químicos. Por sus efectos suaves sobre moléculas, tiene perspectivas muy interesantes en alimentos frescos, naturales, funcionales, hipoalergénicos...

La innovación y el desarrollo de nuevos productos constituyen una herramienta básica para la mejora de la competitividad de la industria alimentaria en los mercados globales, y las nuevas tecnologías de procesado no térmico, como la que aquí nos ocupa, pueden ser pieza clave en la estrategia competitiva de las empresas de alimentación.

La amplitud del desarrollo industrial en los años futuros dependen también del rendimiento de las máquinas, y del ratio producción / coste de inversión. La tendencia va hacia máquinas de más volumen, más productivas y más optimizadas cuanto a funcionamiento, carga y descarga de productos, etc. Son cada vez más capaces de convencer empresas grandes, que son en general las que tienen la capacidad de invertir en ellas y de lanzar nuevos productos al mercado.

La reglamentación, cada vez más exigente al nivel microbiológico en particular, favorece la implementación de nuevas técnicas respetuosas del producto, pero eficientes cuanto a microorganismos patógenos. En la mayoría de los casos, la primera máquina de altas presiones se instala para solucionar un problema encontrado con un producto clásico de la empresa : eliminar un riesgo de contaminación por un microorganismo patógeno, extender la vida útil para conquistar un mercado al exportación... Luego, la tecnología se transforma en una herramienta diferenciadora de la competencia para la empresa que la domina, y que puede así proponer productos nuevos, únicos a su mercado.

De las 50 empresas diferentes que invirtieron en una máquina industrial de altas presiones entre 1990 y 2005, 5 pararon la producción y desmontaron el equipo, 29 no han comprado todavía otros equipos, y las últimas 16 empresas extendieron su capacidad de proceso con la compra de otros equipos. Se puede considerar como una prueba muy positiva del potencial industrial de esta tecnología novedosa.

## Capítulo VIII:

### **USO DE LA ALTA PRESIÓN EN MIOSISTEMAS. IMPORTANCIA EN EL PROCESADO DEL PESCADO**

---

**Pilar Montero, M. Carmen Gómez-Guillén y A. Javier Borderías**

Instituto del Frío (CSIC)  
José Antonio Nováis 10  
28040 Madrid. España.  
Tlfno.: +34-915492300. Fax. 34-915493627  
e-mail: ifrpm18@if.csic.es

#### **1. INTRODUCCIÓN**

La idea del uso de las altas presiones en la tecnología de alimentos no es nueva, aunque su investigación y uso industrial se ha desarrollado en gran medida en los últimos 15 años. La presión isostática que se utiliza en el procesado de alimentos varía usualmente entre 200 y 700 MPa. Su uso es variado aunque fundamentalmente se emplea como medio de pasteurización.

Las primeras experiencias en músculo se llevaron a cabo por Hite en 1899 (Farr, 1990) que reportaba que se podía mantener la carne libre de contaminación 3 semanas cuando se presurizaba a 530 MPa a temperatura de 52°C durante una hora.

Para la presurización del alimento, este se coloca en un envase hermético y flexible capaz de transmitir la presión. La presurización se lleva a cabo en el seno de un líquido poco compresible mediante una bomba de alta presión, en un contenedor de paredes muy resistente (figura 1). La presión se ejerce instantánea y

uniformemente a través de todo el alimento, logrando de esta forma que la duración del tratamiento de presurización sea independiente del volumen y de la masa del alimento. No se requiere energía suplementaria para mantener el alimento bajo presión un tiempo prolongado.

La presión isostática aplicada va a influir en la mayoría de las reacciones bioquímicas, ya que en su desarrollo existe normalmente un cambio de volumen. Así, reacciones con las que se produzca aumento de volumen, tenderán a ser inhibidas con la alta presión, mientras las que den como resultado una disminución de volumen se verán favorecidas. Centrándose en las proteínas, la presión es capaz de alterarlas a nivel de su estructura secundaria, terciaria y cuaternaria (Lullien-Pellerin y Balny, 2002). Presiones moderadas (<150 MPa) afectan la estructura cuaternaria mantenida por interacciones hidrofóbicas. Igualmente a presiones parecidas (<200 MPa) se favorece la disociación de proteínas oligoméricas. A presiones de 150-200 MPa se producen desdoblamiento de proteínas y reasociación de subunidades procedentes de la disociación de oligómeros. Cambios en la estructura terciaria se observan a presiones más altas de 200 MPa. Desdoblamientos reversibles pueden ocurrir entre 400 y 800 MPa. A presiones entre 300 y 700 MPa suceden modificaciones de la estructura secundaria conducente a desnaturalización no reversible dependiendo de la reorganización de la molécula proteica.

El efecto de las altas presiones en la viabilidad de los microorganismos es, en parte, debido a lo dicho para las proteínas. A bajas presiones, el efecto puede ser reversible y los microorganismos se pueden recuperar. A altas presiones sobrevienen cambios en la permeabilización de las membranas. Por ejemplo, en *Saccharomyces cerevisiae* (Hayashi, 1989) a presiones de 400 MPa los orgánulos citoplasmáticos y el núcleo se deforman y su estructura se altera; si aumenta la presión el citoplasma sale de la célula. Todo esto no sucede en el caso de las esporas donde, para destruir el microorganismo, hay que acudir a combinaciones de alta presión y temperatura.

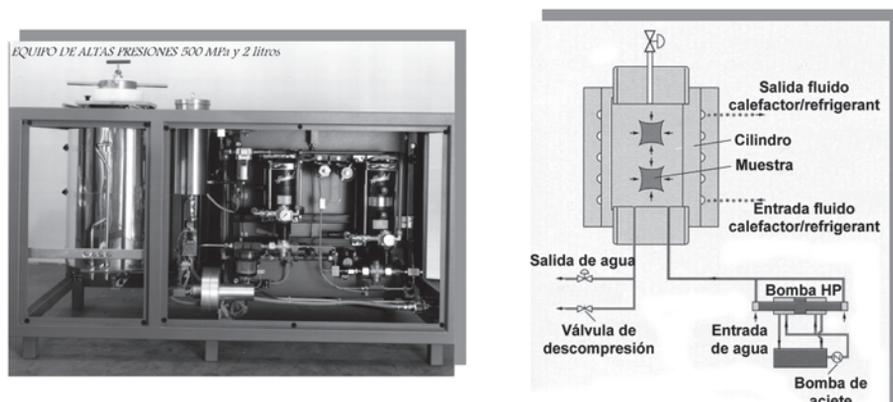


Figura 1 - Máquina de alta presión y esquema de funcionamiento.

En base a estas modificaciones, la alta presión se utiliza en los miosistemas, tanto para inducir al alimento en cuestión a un tiempo más prolongado de conservación principalmente por inactivación enzimática o por destrucción de microorganismos, como para transformar sus propiedades sensoriales, bien como procedimiento de ablandamiento, bien como medio de gelificación.

## 2. ASPECTO DE LOS PRODUCTOS PRESURIZADOS

El hecho que la aplicación de las altas presiones a músculos, tanto de animales de abasto como de productos pesqueros, produzca en numerosas ocasiones cambios de aspecto, fundamentalmente del color, restringe notablemente su aplicación. Generalmente, al incrementar la presión, el músculo de pescado, se vuelve más blanquecino y opaco, especialmente si la presión se administra acompañado de temperaturas moderadamente altas. La mayoría de los trabajos cifran en 200 MPa la presión a partir de la cual se desarrollan cambios de color, aunque esto depende mucho de la especie. Los cambios de color suponen objetivamente un incremento de la luminosidad ( $L^*$ ) y del valor  $b^*$ . Ohshima y col. (1993), observaron que cuando músculos de bacalao y de caballa fueron tratados con alta presión, el valor  $L^*$  incrementaba y el  $a^*$  disminuía a medida que lo hacía la presión. Según Yoshioka and Yamamoto (1998), no existe diferencia en el color del músculo de chova (*Pomatomus saltratrix*) cuando se presuriza a menos de 200 MPa, sin embargo el músculo de carpa (*Cyprinus carpio*) ya sufre modificaciones de color a presurizaciones de 100 MPa durante 10 min a 20 °C. En otras especies como merluza (*Merluccius capensis*) y rodaballo (*Scophthalmus maximus*) los cambios de color solo se aprecian a más de 200 MPa (Hurtado et al, 2000) y 180 MPa (Chevalier y col, 2001). Algunos moluscos y crustáceos retienen aceptablemente la apariencia después de presurizados. Gambas (*Penaeus japonicus*) presurizadas a 200 MPa a 200 MPa durante 10 min a 7 °C tienen aspecto de crudas, y cuando se presurizan a 400 MPa en las mismas condiciones el cambio de color es mínimo (López-Caballero y col., 2000 a). Hurtado y col. (2001a,b) reportan que las características sensoriales del pulpo se alteraron mínimamente cuando se le presuriza a 400 MPa durante 15 min o en tres pulsos de 5 min.

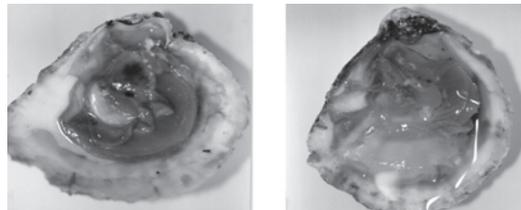


Figura 2 - Ostras: no presurizada (izquierda) y presurizada (derecha).

También se han llevado a cabo estudios en ostras presurizando a 400 MPa, tanto a temperatura ambiente como a baja temperatura. De esta forma la viande queda más voluminosa y con un mejor aspecto que cuando no está presurizada; además el sabor no se modifica (López-Caballero y col, 2000 b) o se intensifica ligeramente (Hoover y col., 1989).

### 3. EFECTO DE LAS ALTAS PRESIONES SOBRE LA ESTABILIDAD DE LOS PRODUCTOS CONSERVADOS

La razón principal del uso de las altas presiones sobre los alimentos en general, y sobre las carnes y pescados, en particular, es su pasteurización con vistas a una mayor vida útil. Numerosos trabajos han sido llevados a cabo en este tema sobre productos cárnicos, tanto efectuando presurizaciones en un ciclo: carne picada (Carlez y col., 1993), carne de pollo (O'Brien y Marshall, 1996), carne de cerdo troceada (Mussa y col., 1999), beef patties Carballo y col., 1997; Lopez-Caballero y col., 2002), jamón en lonchas (Lopez-Caballero y col, 1999; López-Caballero y col., 2002), como en varios ciclos, con lo que según los casos se obtienen reducciones significativas en la cantidad de microorganismos (Yuste y col., 1998; Ponce y col, 1998 y 1999; Capellas y col., 2000; Yuste y col., 2001). También la alta presión ha sido utilizada en tratamientos de pasteurización de músculo de pescado y productos pesqueros mostrando su efectividad, combinando esta técnica con la aplicación de diversas temperaturas.

Ha habido muchos estudios para determinar los cambios en el músculo de pescado que se somete a diversas condiciones de presurización, pero sólo algunos en relación con la estabilidad de dichos productos a lo largo del tiempo en condiciones de refrigeración. Ashie y Simpson (1997), reportaron que no existía modificación de la estructura muscular en chova (*Pomatomus saltatrix*) presurizada en el rango de 100- 300 MPa durante 30 min a 4°C y conservado posteriormente a 0°C durante 21 días, aparte de los cambios inducidos por la presurización antes de la conservación. Estos mismos autores añadían que diversos enzimas se reactivaron durante este tiempo.

Ohshima y col. (1993) refieren cambios ocurridos en relación a la hidrólisis de fosfolípidos del músculo de bacalao (*Gadus macrocephalus*) cuando se presuriza a 200- 600 MPa durante 15- 30 min a 11 °C. Dichos autores comprueban que el índice de peróxidos aumenta a medida que se aumenta la presión. Después de almacenado a -2°C el músculo de bacalao durante 6 días, comprobaron que en las muestras no presurizadas o presurizadas a 200 MPa existe aumento de ácidos grasos libres, mientras que en las presurizadas a 400 MPa este índice de enranciamiento permanece estable. Con esto los autores concluyen que la hidrólisis enzimática de los fosfolípidos queda inhibida por encima de los 400 MPa durante más de 15 min en el músculo de estudio. Hurtado y col. (2000), observan que cuando se presuriza el músculo de merluza (*Merluccius merluccius*) a 200 MPa, un nivel al cual la apariencia apenas se modifica, el músculo alarga su vida útil alrededor de una semana. Si la presión es 400 MPa el

músculo sufre cambios organolépticos pero la vida útil se prolonga alrededor de dos semanas. En el caso de músculo de pulpo (*Octopus vulgaris*). Hurtado et al. (2001,c) presurizaron de diversas formas y, sobre todo en el caso de utilizar tres pulsos de 400 MPa durante cinco minutos a 40 °C, consiguieron prolongar la vida útil en 43 días sin apenas cambios organolépticos cuando posteriormente se conservaba a 2-3 °C.

En relación con el efecto de la alta presión en la conservación de colas de gambas, López Caballero y col. (2000 a) consiguieron extender la vida útil hasta los 28 días presurizando a 200 MPa durante 10 min a 7°C, sin que se apreciaran modificaciones organolépticas y a 35 días después de presurizar a 400 MPa en las mismas condiciones. Como efecto negativo, dichos autores observaron una activación de la melanosis que no ocurría cuando las colas de gamba se conservaban a vacío. Consecuentemente, estos autores proponen la combinación de alta presión, envasado a vacío y conservación a temperaturas próximas a 0°C como método para prolongar la vida útil de las gambas.

Se han efectuado recientemente estudios sobre conservación de músculo picado de atún (*Thunnus alalunga*) (Ramirez-Suarez y Morrissey, 2006), observando que la presurización a 310 MPa durante 2- 6 minutos hace disminuir notablemente la carga microbiana extendiendo la conservación a 22 días e induce la formación de polipéptidos de alto peso molecular, lo que hace mejorar la textura del producto. Por otra parte este pescado picado congelado a -20°C queda protegido parcialmente de la oxidación lipídica. Sin embargo, el cambio de color devalúa parcialmente el producto.

Contrariamente al caso precedente Sequeiro-Muñoz et al. (2006) encuentran que filetes de carpa (*Cyprinus carpio*) presurizados a 100- 200 MPa durante 15- 20 minutos a 4°C sufren aumento del índice de TBA y ácidos grasos libres a la vez que cambios en el color.

Uno de los mayores éxitos de la tecnología de alta presión sobre productos alimenticios se ha conseguido sobre ostras, de forma que en USA existen varias factorías con esta única finalidad. La ostra cuando se presuriza a 400 MPa a 7°C, por supuesto muere, lo cual hace que se abra y se facilite el consumo, pero además el aspecto mejora, la jugosidad aumenta su sabor no cambia o se intensifica y su estabilidad a temperaturas cercanas a 0°C se prolonga (López-Caballero y col., 2000 b). Además después de los trabajos de Calik y col. (2002) se sabe que con la alta presión se destruye el *Vibrio parahaemolyticus* que es el principal causante de diarreas por consumo de ostras infectadas y no suficientemente higienizadas. Como efecto negativo de las altas presiones sobre las ostras está la aparición de ennegrecimiento en las ostras que no están envasadas a vacío por la activación de la polifeniloxidasas.

Como ya hemos comentado la aplicación de las altas presiones viene limitada por las características sensoriales que se deseen mantener en el producto. En los últimos años se han realizado diversos estudios sobre la aplicación de las

altas presiones a pescado ahumado, principalmente salmón (Lakshmanan y Dalgaard, 2004) y lampuga (Gómez-Estaca et al. 2006). En ambos casos se han ensayado diversas condiciones, siendo las más idóneas para salmón ahumado no más de 200 MPa/ 20 min a 20 °C, produciéndose oxidación y cambios de color no deseables a condiciones de presión mayores. En lampuga las condiciones para obtener las características sensoriales más aceptadas fueron 300MPa /15 min/20 °C, aunque hubo ligeros cambios en color y textura y evitando la oxidación por los componentes fenólicos del humo. En cuanto a la inhibición de ciertos microorganismos se ha observado que según las condiciones de presión aumenta la fase de latencia para los microorganismos. En estudios de descongelación asistida por alta presión se observó que a 0.1 MPa no se producía inactivación bacteriana. Sin embargo *Pseudomonas fluorescens* sufrió una reducción de 2.8 ciclos logarítmicos cuando el salmón ahumado se sometió a 207 MPa 20°C /23 min con descenso de la presión de 3 s siendo la reducción mayor con las mismas condiciones pero a 3°C. Una reducción de 1,2; 1,4; y 4,3 ciclos logarítmicos en *Listeria innocua*, *Micrococcus luteus* and *P fluorescens* se produce al tratar con 207MPa / -21°C/ 23 min seguido por descenso de la presión durante 3 s (Picart et al., 2004). En cuanto a la inhibición de *Listeria monocytogenes* se ha profundizado un poco más, determinado que su inhibición no solo viene dada por el tratamiento de altas presiones sino que también puede ser debido al proceso de salmuerado y ahumado previo. Cuando estas condiciones son suaves y no se inhibe el crecimiento de *L. monocytogenes* la aplicación posterior de un tratamiento con altas presiones (250 MPa o 300 MPa / 20°C) aumenta la fase de latencia considerablemente o incluso muestra un efecto listericida (Lakshmanan, R. and P. Dalgaard. 2004 y Montero et al., 2006).

También se han realizado algunos trabajos para determinar la viabilidad de larvas de *Anisakis simplex* extraídas de tejido contaminado de pescado y presurizado en una solución isotónica. Un tratamiento de 200 MPa /10min/ 0-15°C mata la larva de *A. simplex* y presiones inferiores como 140 MPa a tiempos más largos (? 1 hora). Ciclos de compresión descompresión aumentan el poder de destrucción (Molina-García y Sanz, 2002).

Se ha estudiado la efectividad de las altas presiones en sistema real, es decir en pescado crudo. Los tiempos y presiones requeridos para matar el 100% de las larvas en salmón real fue: 30-60 s/ 414 MPa; 90-180 s /276 MPa; y 180 s /207 MPa. Estos tratamientos producen unas modificaciones sensoriales, principalmente en el color del músculo de salmón, que pueden ser limitantes a la hora de ser comercializados como crudo (Dong et al. 2003).

También la alta presión ha sido estudiada como parte del proceso en la elaboración de platos preparados. Franceschini et al. (2006) refieren que platos de pescado que contienen ingredientes cocinados, cuando se procesan a 600 MPa y se almacenan a 4°C la vida comercial se extiende notablemente y desaparecen gérmenes patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella spp.*; por otra parte la textura no queda afectada.

#### 4. EFECTOS DE LA ALTA PRESIÓN SOBRE LOS ENZIMAS

Uno de los efectos que más se busca con la aplicación de la alta presión, es la destrucción de los enzimas en base a la desnaturalización de su parte proteica siguiendo los patrones dichos de forma sucinta, más arriba (Hayashi, 1989; Nagashima y col., 1993; Oshima y col., 1993; Ashi y col., 1997; Hurtado y col., 2002). El motivo es el ralentizar el deterioro del músculo al inhibir la acción enzimática. En general, el efecto de las altas presiones sobre las enzimas musculares va a depender extraordinariamente de la presión, su tiempo y su temperatura de aplicación. En músculo de animales de abasto se ha prestado especial atención al estudio de las calpaínas y catepsinas en cuanto su participación en el proceso postmortem que conduce a la palatabilidad y terneza de la carne. En relación con la actividad de la calpaína, Koohmaraie y col. (1984) observaron que con presurizaciones de 100 MPa durante 2 minutos a 37°C existe pérdida de actividad. Esto también fue observado en músculo de conejo por Homma y col. (1994), determinando que existe inactivación parcial alrededor de 200 MPa y total a los 400 MPa. Aparte de los cambios de conformación molecular inducida por la presión, el aumento de la actividad enzimática puede resultar de una rotura de los lisosomas, liberándose de esta forma los enzimas y tomando contacto súbitamente con las miofibrillas (Burtz y col., 1994 y Gomes y Ledward, 1996). En este caso la destrucción de los lisosomas va a depender del pH del medio, de la presión, de la temperatura, etc. En general, el conocimiento de las modificaciones en los enzimas originados por los cambios de presión será de gran utilidad para la extensión de la vida útil de los miosistemas.

Hay pocas referencias en la literatura de la acción de la alta presión sobre la actividad enzimática en músculos de pescado. Ashie y Simpson (1996) estudiaron el efecto de alta presión (100- 300 MPa) sobre extractos enzimáticos de chova (*Pomatomus saltatrix*). Cuando dicho extracto se presurizaba durante 30 min a 100 MPa, la actividad residual de las catepsinas C, quimiotripsina y tripsina fueron 59, 93 y 64 % respectivamente, mientras la colagenasa quedaba sin afectar. A 200 MPa las enzimas retenían 48, 65 y 45 % de su actividad original, mientras que la colagenasa retuvo el 88 %. Si en vez de extractos enzimáticos se presuriza todo el músculo, la inactivación enzimática puede ser diferente. Angsupanich y Ledward (1998) estudiaron la actividad enzimática en músculo de bacalao (*Gadus morhua*) presurizado a 100- 800 MPa durante 20 min a temperatura ambiente y comprobaron que diferentes proteasas no se inactivaron a 800 MPa pero la mayoría de las neutras disminuyeron su actividad por encima de los 200 MPa. En el caso de los cefalópodos, Nagashima y col. (1993) obtuvo a 800 MPa una notable reducción en la actividad de proteasas del músculo de calamar (*Loligo bleekeri*). Hurtado y col (2000, 2001) observaron algo de inactivación en proteasas de pulpo (*Octopus vulgaris*) a 200 MPa, siendo muy evidente a 400 MPa. Estos autores también observaron que la inactivación era mayor cuando la presión se administraba de forma continua que por pulsos. Estos autores también estudiaron el comportamiento de la alta presión sobre grupos enzimáticos, detectando que las aspártico-proteinasas fueron el grupo más sensible (Hurtado y col., 2002). Lakshmanan et al. (2005) estudiando el

comportamiento de diversos grupos enzimáticos durante la conservación en refrigeración de salmón ahumado en frío y presurizado posteriormente a 300 MPa, 9°C durante 20 min, encontraron un descenso en la actividad de calpains, catepsina B y catepsina B+L debido al tratamiento de alta presión. Mediante análisis electroforético observaron, sin embargo, que la cabeza pesada de la miosina (MHC) apenas se afectó a 300 MPa, induciéndose en consecuencia pocos cambios en las proteínas durante la refrigeración posterior. Más actualmente, en relación con la modificación de la actividad enzimática del músculo de pescado, Cheret et al.(2006,a) encuentran en lubina (*Dicentrarchus labrax* L) que la actividad de las calpains se modificó según las presiones utilizadas, así entre 100 y 300 MPa disminuyó y por encima de 300 MPa aumentó. El inhibidor de esta enzima, la calpastatina no se afecta con las presiones utilizadas aunque la actividad inhibitoria disminuye gradualmente con la conservación en estado refrigerado. En el caso del tratamiento de la misma especie a 500 MPa durante 5 minutos, estas modificaciones, así como la notable reducción de microorganismos, originan un menor exudado a lo largo de su conservación en estado refrigerado así como una textura más firme (Cheret et al, 2006,b). A esta última presión se potencia la actividad de las catepsinas B, H y L, mientras que decrece la actividad de la catepsina D y desaparece la de la calpaína (Cheret et al., 2005)

En relación con la tenderización del músculo, McFarlane (1973) observó que cuando se presurizaba a 100 MPa durante 1-4 min a 30-35 °C músculo bovino y ovino en estado de prerigor, el músculo resultaba más firme y contraído; sin embargo después de cocinado, era bastante más blando. Esto fue confirmado más tarde por otros autores (Kennick y col., 1980 y Riffero y Colmes, 1983). McFarlane (1973) y Kennick y col. (1980) en músculo bovino y Hogan (1979) en músculo de conejo observan que durante la aplicación de las altas presiones el pH se reduce en 0.6 y 1 respectivamente. Al margen de otras consideraciones, esta reducción de pH a medias temperaturas favorece la acción de las proteasas lo que podría estar ligado con la tenderización. Sin embargo a bajos niveles de presión aplicada a músculo de animales de abasto en postrigor no existe tenderización (Cheftel y Culioli, 1997), a pesar de existir cambios importantes en la estructura del sarcómero. La aplicación de presiones de alrededor de 500 MPa si ablandan la carne (Cheftel y Culioli, 1997), pero a más de 300 MPa los cambios en coloración son notables y no se podría comercializar el producto como carne fresca. Ashi y Simpson (1998) resumen la acción "texturizante" de la alta presión sobre el músculo en tres hechos observados por microscopía electrónica: a/ destrucción de los filamentos A (Suzuki y col.1990), b/ debilitamiento de filamentos "gap" (Locker y Wild, 1984) y c/ ruptura de los filamentos I (MacFarlane y Morton, 1978). Respecto a la acción de la presión sobre el tejido conectivo y su relación con la dureza, varios autores (Ratcliff, 1977; Mac Farlane y col., 1981, 1984; etc) no encuentran que exista modificación. Suzuki y col. (1993), sin embargo, encuentra cambios térmicos y de ultraestructura en colágeno intramuscular cuando se presuriza (100-300 MPa a 2°C durante 5 minutos) músculo que ha sido madurado por varios días, sin duda debido a la acción previa de los enzimas. En músculo de pollo Yoshioka

y col. (1992) encontraron que después de presurizado a 500 MPa durante 10 minutos existe un pequeño incremento de la dureza en músculo sin cocinar.

En el caso del músculo de productos marinos, normalmente no se necesita ablandar como es el caso de las carnes y se considera de calidad un músculo firme; de todas formas existen moluscos que si necesitarían de este proceso. En relación con la textura de músculos de pescado presurizados, los resultados varían enormemente. Yoshioka y col. (1992) encontraron que músculos de carpa y caballa presurizados a 500 MPa durante 10 minutos no variaban su dureza respecto de los músculos sin presurizar. Sin embargo, Yoshioka y Yamamoto (1998) si relatan que existe ablandamiento cuando se someten a presiones de 100-500 MPa y observan, a nivel ultraestructural, que a 300 MPa la estructura estriada desaparece y a 500 MPa desaparece los elementos contráctiles apareciendo corpúsculos electrodensos. Otros autores (Ashi y Simpson, 1996; Ashi y col., 1997; Angsupanich y Ledward, 1998) observan en músculo de pescado (anjova y bacalao), que con la aplicación progresiva de la presión se produce un aumento de la dureza del músculo hasta alcanzar un valor en que la dureza disminuye. Estos autores atribuyen el incremento inicial de la dureza a la formación de puentes de hidrógeno entre las proteínas miofibrilares y a modificaciones habidas a nivel miofibrilar; el ablandamiento posterior se correspondería con la desintegración de las miofibrillas y de las fibras de colágeno a nivel de perimio y endomio. En el caso del músculo de pulpo (Hurtado y col., 2001 a, b), lotes presurizados a 200, 300 y 450 MPa durante 15 minutos a temperaturas de 7 y 40°C resultan más duros que los no presurizados aunque son más blandos en razón inversa a la presión; en todos los casos, las fibras musculares del músculo de pulpo sufren compactación; además existe desestructuración en las miofibrillas a medida que es más alta la presión aplicada, desapareciendo los núcleos de las células musculares (Hurtado y col., 2001a).

Ashi y col. (1997) atribuyen la diferente textura entre pescado y carne al hecho de la menor cantidad de colágeno y al menor número total de enlaces cruzados y añaden que esta es la razón del diferente comportamiento de estos músculos a las altas presiones. La mayoría de los autores están de acuerdo en que presiones superiores a 300 MPa inducen a rupturas en las fibras musculares y desintegración parcial o total de la estructura contráctil. Sin embargo no existe unanimidad en el caso de la opinión de que existan modificaciones en el colágeno muscular. Ashi y col. (1997) sugiere, en general, que con presiones hasta 100 MPa las moléculas se aproximan facilitando la formación de enlaces y por tanto aumenta la firmeza del músculo; sin embargo a mayores presiones se rompen dichas uniones y existe destrucción del tejido originando una menor firmeza y elasticidad.

## **5. GELIFICACIÓN POR ALTA PRESIÓN**

Otro uso tecnológico de las altas presiones en relación con el músculo es la

formación de gel para la elaboración de productos análogos o de nuevos productos.

Normalmente los geles a partir de músculo de pescado se elaboran disolviendo la actomiosina muscular con sal y, por medio de calor (80-90°C) se fija la red formada mediante el establecimiento de enlaces iónicos, hidrógeno, hidrófobos y covalentes. Una extensa investigación ha mostrado que mediante desnaturalización proteica inducida por alta presión se puede gelificar; o bien, la alta presión puede ser complementaria de la gelificación térmica en orden a la obtención de determinadas texturas. Así según algunos autores, utilizando alta presión a baja o media temperatura sobre homogeneizados de músculo de pescado y sal, favorece la formación de gel (Suzuki y Macfarlane, 1984) aunque otros reportan que no mejora la gelificación por inducción térmica (Okazaki y col., 1997). Estos últimos autores reportan que el calentamiento simultáneo durante la presurización, debilita las propiedades gelificantes. En un estudio reciente llevado a cabo en músculo de halibut del Pacífico (*Atheresthes stomias*), una especie con un alto grado de proteólisis endógena, se observó que un tratamiento combinado de alta presión, seguido de un calentamiento posterior mejoraba notablemente las propiedades mecánicas del gel (Uresti et al., 2005). A pesar de las discrepancias, la gelificación en frío bajo alta presión ofrece perspectivas interesantes ya que tales geles presentan un aspecto distinto, más translúcidos y brillantes, más suaves y una textura más deformable y manifiestamente distinta que puede llevar a la fabricación de una amplia gama de productos (Ohshima y col., 1993; Shoji y col., 1990; Shoji y col., 1991; Chung y col., 1994; Pérez-Mateos y col., 1997; Pérez-Mateos y Montero, 2000; Uresti et al., 2004; Tabilo-Munizaga y Barbosa-Cánovas, 2004a,b).

Desde hace algunos años se estudia el mecanismo molecular de la gelificación por alta presión. Estudios ya antiguos demostraron que las principales proteínas musculares, actina y miosina, sufrían despolimerización cuando se sometían a presiones de 100- 300 MPa (Ikai y Ooi, 1969; Mcfarlane y McKenzie, 1976); esta despolimerización conduce a un incremento de la solubilización de dichas proteínas. Presurización alrededor de 200 MPa a temperaturas frías causan mayor destrucción y reordenamiento de enlaces iónicos e hidrofóbicos (Masson, 1992; Cheftel y Culioli, 1997); a presiones mayores también se rompen los enlaces de hidrógeno (Angsupanisch y Ledward, 1998). Existe discrepancia en la bibliografía sobre el papel predominante de los enlaces en los geles elaborados en frío mediante alta presión; mientras Carlez y col. (1995) y Perez- Mateos y col., (1997) piensan que el papel predominante en geles de bream y bacaladilla respectivamente es el de los enlaces hidrofóbicos, Gilleland y col. (1997) trabajando en geles de abadejo de Alaska, reportan que la mayoría de los enlaces son de hidrógeno. También estos trabajos mencionados anteriormente revelan la contribución de los enlaces covalentes en la polimerización de la miosina cuando la presión utilizada es de más de 300 MPa, formándose geles termoestables. La sensibilidad de la miosina a gelificar por alta presión varía de unas especies de pescado a otras, así Ko y col. (1990) revelan que la miosina de la sardina se ve afectada por alta presión seis veces menor que en el

caso del músculo de abadejo de Alaska. De la misma forma, Ashi y col. (1999), reportaron que la miosina de animales de sangre caliente o de pescados que se encuentran en aguas calientes es más estable a la presión.

En relación con el procesado, se sabe que la adición de un contenido de NaCl entre 1 y 3 %, como en el caso de los geles inducidos térmicamente, es necesario para la gelificación por alta presión, aunque parece que la cantidad se puede reducir, lo cual puede resultar dietéticamente importante. (McFarlane y col., 1984; Cheftel y Culioli, 1997; Carlez y col., 1995).

En relación con la conservación de geles a partir de músculo de abadejo de Alaska inducidos por alta presión a 200 MPa y a 0°C, Shoji y col (1991) observaron que durante la conservación a 5 °C se incrementaba la dureza progresivamente. Carlez y col.(1995) también observaron en geles de baga japonesa (*Nemipterus japonicus*) que entre los días 8 y 12 de conservación en estado refrigerado la fuerza a rotura aumentaba más que en el caso de los geles procedentes del mismo pescado pero inducidos térmicamente. En sentido contrario, Montero y col. (1998) reportaron una tendencia a la disminución de la fuerza y deformación a rotura de geles de bacaladilla inducidos por alta presión a 200 y 375 °C. durante 20 días de conservación en estado refrigerado, siendo debido según los autores a la acción microbiana sobre la hidrólisis de las proteínas. En la conservación en estado congelado, los geles inducidos por alta presión también presentan más endurecimiento que los inducidos térmicamente, especialmente dentro de las primeras 8 semanas de conservación a -20 °C (Borderías y col. 1977).

La adición de determinados ingredientes en el proceso de gelificación por alta presión tal y como se adicionan en la gelificación térmica ha sido publicado por algunos autores. La incorporación de diversos hidrocoloides como goma guar, garrofin, goma xantana, carboximetilcelulosa, alginato e iota y kapa carragenatos en la gelificación por altas presiones modifica su comportamiento con respecto a la gelificación térmica, ofreciendo diferencias en las propiedades ligantes y una nueva y diversificada gama de texturas que le puede hacer idóneo para la elaboración de alimentos funcionales (Montero et al. 2001, Pérez-Mateos y Montero, 2000, 2002, y Pérez-Mateos et al. 2002). Por ejemplo, Tabilo-Munizaga y Barbosa-Cánovas (2005) encontraron que tratamientos de alta presión de 400 o 650 MPa favorecen la capacidad de retención de agua en geles de merluza del Pacífico adicionados de clara de huevo. En este mismo estudio se observó también que la estructura del almidón de patata no se afecta de forma acusada por las altas presiones, ya que se mantiene en gran medida la integridad de los gránulos. Por otra parte, es conocido que la presurización acelera los procesos oxidativos, que pueden ser evitados con la incorporación de antioxidantes naturales como el extracto de romero o la quercetina (Pérez-Mateos et al. 2002, y Montero et al., 2005). Otros compuestos, como el quitosano, también han sido adicionados en geles de músculo de bacalao inducidos por alta presión, como ingrediente funcional para favorecer el aporte de fibra (López-Caballero et al., 2005).

## 6. CONGELACIÓN POR ALTA PRESIÓN

También se ha utilizado el procesado de alta presión para congelar y descongelar músculo de forma que la cristalización se organice en pequeños cristales que apenas afecten la estructura muscular. El método consiste fundamentalmente en despresurizar rápidamente desde 100 o 200 MPa a temperatura de  $-10$  o  $-20^{\circ}\text{C}$  lo cual induce a un super-enfriamiento y a mejorar la uniformidad de los cristales y a disminuir su tamaño. Existe una extensa revisión al respecto elaborada por Cheftel y col. (2000). Recientemente se ha encontrado que la congelación asistida por alta presión (207 MPa, a temperaturas entre  $-21^{\circ}\text{C}$  y  $-29^{\circ}\text{C}$ ), además de evitar la formación de cristales de hielo, también es capaz de producir inactivación de *Listeria innocua* en músculo picado de salmón ahumado, sin evidencia de daño sub-letal (Picart et al, 2005).

El efecto de la descongelación por alta presión (200 MPa /60 min) se ha estudiado en pescado tras la cocción, y se ha comparado con el método de descongelación convencional ( $15^{\circ}\text{C}$  / presión atmosférica). El color y la textura se ven afectados por la descongelación asistida por presión, en especial incrementa la luminosidad y la dureza. La diferencia en la calidad de los filetes atribuidas a los tratamientos, se magnifican después del cocinado, siendo mejor en los filetes descongelados por alta presión. Aroma y textura fueron los más afectados por el tratamiento de descongelación por presión, apreciando diferencias según especies. Aunque el exudado fue menor en la descongelación por presión, la capacidad ligante de agua fue mayor en los filetes descongelados por el tratamiento convencional (Schubring et al 2003). Similares resultados se han encontrado en la descongelación por presión en vieiras, disminuyendo considerablemente la pérdida de exudado. En salmón del Atlántico se ha observado que tratamientos de alta presión en torno a 200 MPa disminuyen notablemente el tiempo de descongelación, sin embargo producen cambios marcados en el color y la textura del producto (Zhu et al., 2004). Estos autores encontraron una disminución en la pérdida de exudado del producto descongelado mediante alta sólo en el caso de que hubiera sido congelado previamente mediante inmersión nitrógeno líquido, ya que el exudado era mayor cuando la congelación se producía de forma convencional mediante corriente de aire forzada o en armario de placas.

Además de coadyuvante en congelación, las altas presiones se pueden utilizar en otros procesos como es el caso de la extracción de gelatinas de pescado. Según Gómez-Guillén et al. (2005), el proceso de extracción de gelatina a partir de piel de lenguado (*Solea vulgaris*) se ve extraordinariamente acortado en tiempo, y según el momento de aplicación, el rendimiento es mayor. Por otra parte, las características de la gelatina extraída mejoran. Igualmente Uresti et al. (2005) reportan que reestructurados de pescado elaborados mediante la inclusión de Transglutaminasa a  $25^{\circ}\text{C}$  mejoran las propiedades reológicas cuando las muestras se presurizan a 600 MPa.

## REFERENCIAS

- Angsupanich K., Edde M. y Ledward A. 1999. Effects of high pressure on the myofibrillar proteins of cod and turkey muscle. *J. Agric. Food Chem.* 47: 92-99.
- Ashie I.N.A. y Simpson B.K. 1996. Application of high hydrostatic pressure to control enzyme related fresh seafood texture deterioration. *Food Res. Int.* 29(5-6): 575.
- Ashie I.N.A. y Simpson B.K. 1998. A research note: effects of pressurization and refrigerated storage on microstructure of fish muscle tissue. *J. Muscle Foods*, 9: 193-199
- Ashie I.N.A., Lanier T.C. y MacDonald G.A. 1999. Pressure induced denaturation of muscle proteins and its prevention by sugars and polyols. *J. Food Sci.*, 64 (5): 818-822.
- Ashie I.N.A., Simpson B.K. y Ramaswamy, H.S. 1997. Changes in texture and microstructure of pressure-treated fish muscle tissue during chilled storage. *J. Muscle Foods*, 8:13-32.
- Borderías A.J., Pérez-Mateos M. y Montero, P. 1997. Frozen storage of high pressure and heat induced gel of blue whiting (*Micromesistius poutassou*) muscle. *Z. Lebens. Unters. Forsch.*, 205: 223-342.
- Burth P., Koller W.D., Tauscher B. y Wolf S. 1994. Ultra high pressure processing of onions: chemical and sensory changes. *LWT - Food Sci. Tech.* 27: 463-467.
- Calik H., Morrissey M.T., Reno P.W. y An H. 2002. Effect of high-pressure processing on *Vibrio parahemolyticus* strains in oysters. *J. Food Sci.* 67(4):1506-1510.
- Capellas M., Mor-Mur M., Gervilla R., Yuste J. y Guamis B. 2000. Effect of high pressure combined with mild heat or nisin on inoculated bacteria and mesophiles of goat's milk fresh cheese. *Food Microbiol* 17(6): 633-641.
- Carballo J., Fernandez P., Carrascosa A. V.; Solas M. T. y Jiménez- Colmenero F. 1997. Characteristics of low and high-fat patties: effect of high hydrostatic pressure. *J Food Prot.* 60(1): 48-53.
- Carlez A., Borderías J., Dumay E. y Cheftel J.C. 1995. High pressure gelation of fish myofibrillar proteins. In: *Food macromolecules and Colloids.* (E. Dickinson and D. Lorient, Eds.) Royal Society of Chemistry, Cambridge, England, 400-409.
- Carlez A., Rosec J. P., Richard N. y Cheftel J. C. 1993. High pressure inactivation of *Citrobacter freundii*, *Pseudomonas fluorescens* and *Listeria innocua* in inoculated minced beef muscles. *LWT - Food Sci. Tech.* 27(1): 48-54.
- Cheah, P.B. y Ledward, D.A. 1997. Inhibition of matamyoglobin formation in fresh beef by pressure treatment. *Meat Sci.* 45: 411-418.
- Cheftel J.C. y Culioli J. 1997. Effects of high pressure on meat: a review. *Meat Sci.*, 46(3): 211-236.
- Cheftel J.C., Levy J. y Dumay E. 2000. Pressure-Assisted freezing and thawing: Principles and potential application. *Food Rev. Int.* 16(4): 453-483.
- Cheret, R.; Chapleau, N.; Delbarre-Ladrat, C.; Verrez-Bagnis, V. y de Lamballerie, M. 2006. Effects of high pressure on texture and microstructure of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L) fillets. *J. Food Sci.* 70(8): 477-483.

Cheret, R.; Delbarre-Ladrat, C.; de Lamballerie-Anton, M. y Verrez-Bagnis, V. 2005. High- Pressure effects on the proteolytic enzymes of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L) filets. J. Agric. Food Chem. 52(10): 3969- 3973.

Cheret, R.; Hernández-Andrés, A.; Delbarre-Ladrat, C.; de Lamballerie, M. y Verrez-Bagnis, V. 2006. Proteins and proteolytic activity changes during refrigerated storage in sea bass (*Dicentrarchus labrax* L) muscle after high pressure treatment. Eur. Food Res. Technol. 222 (5-6): 527- 535.

Chevalier D., Le Bail A., y Ghoul M. 2001. Effects of high pressure treatment (100-200 MPa) at low temperature on turbot (*Scophthalmus maximus*) muscle. Food Res. Int. 34: 425-429.

Chung Y.C., Gebrehiwot A., Farkas D.F. y Morrissey M.T. 1994. Gelation of surimi by high hydrostatic pressure. J. Food Sci. 59: 523-524.

Dong FM, Cook AR, Herwig RP . 2003. High hydrostatic pressure treatment of finfish to inactivate Anisakis simplex. J. Food Prot. 66 (10): 1924-1926.

Farr, D. 1990. High pressure technology in the food industry. Trends Food Sci. Technol, 1: 14-16.

Franceschini, B; Gola, S., Rovere, PP y Frustoli, M. 2006. Application of high hydrostatic pressure to increase the safety and the shelf-life of ready-to-eat traditional meats. Industria Conserve 80(4): 391-409.

Gilleland G.M., Lanier T.C. y Hamann D.C. 1997. Covalent bonding in pressure-induced fish protein gels. J. Food Sci., 62: 713- 716.

Gomes M.R.A. y Ledward D.A. 1996. Effect of high pressure treatment on the activity of some polyphenoloxidases. Food Chem. 56(1): 1-5.

Gómez-Estaca, J. Gómez-Guillén, MC y Montero P. 2006. Physicochemical, microbiological and sensory properties of pressurized smoked dolphin fish during chilled storage. Food Chemistry. En prensa.

Gómez-Guillén, M.C., Gimenez, B. y Montero, P. 2005. Extraction of gelatine from fish skins by high pressure treatment. Food Hydrocolloids 19(5): 923-928.

Hayashi, R. 1989. Application of High Pressure to Food Processing and Preservation: Philosophy and Development. In: Engineering and Food. (W.E.L. Spiess and Schubert, Eds) 815-826.

Homma N., Ikeuchi Y. y Suzuki A. 1994. Effect of high pressure treatment on the proteolytic enzymes in meat. Meat Sci., 38: 219-228.

Hoover D.G., Metrick C., Papineau A.M., Farkas D.F. y Knorr D. 1989. Biological effect of high pressure of food microorganisms. Food Technol. 43: 99-107.

Horgan, D.J. 1979. ATPase activities of sarcoplasmic reticulum isolated from rabbit and bovine muscles subjected to pre-rigor pressure treatment. J. Food Sci., 44(2): 492-493.

Hurtado J.L., Montero P. y Borderías J. 2000. Extension of shelf life of chilled hake (*Merluccius capensis*) by high pressure. Food Sci Tech Int, 6(3): 242- 249.

Hurtado J.L., Montero P. y Borderías J. 2001a. High-pressure/temperature treatment effect on the characteristics of octopus (*Octopus vulgaris*) arm muscle. Eur. Food Res. Technol. 213: 22-29.

Hurtado J.L., Montero P. y Borderías J. 2001b. Behaviour of octopus muscle (*Octopus vulgaris*) under a process of pressure-time-temperature combinations. Food Sci. Technol. Int. 7 (3): 259-268.

Hurtado J.L., Montero P.; Borderías A.J. y An H. 2002. Properties of proteolytic enzymes from muscle of octopus (*Octopus vulgaris*) and effects of high hydrostatic pressure. *J. Food Sci.* 67(7): 2555-2564.

Ikkai T. y Ooi T. 1969. Effects of pressure on actomyosin systems. *Biochem.*, 8: 2615- 2622.

Kennick W.H., Elgasim E. A., Holmes Z.A. y Meyer P.F. 1980. The effect of pressurization on pre-rigor muscle on post-rigor meat characteristic. *Meat Sci.* 4: 33- 40.

Ko W.C., Tanaka M., Nagashima Y., Taguchi T. and Amano K. 1990. Effect of high pressure treatment on the thermal gelation of sardine and Alaska pollack meat and myosin pastes. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 37:637-642.

Koohmaraie M., Kennick W.H., Elgasim E.A. y Anglemier, A.F. 1984. Effect of prerigor pressurization on the activity of calcium-activated factor. *J. Food Sci.* 49: 680-684

Lakshmanan, R. and P. Dalgaard. 2004. Effects of high-pressure processing on *Listeria monocytogenes*, spoilage microflora and multiple compound quality indices in chilled cold-smoked salmon. *J. Appl. Microbiol.* 96: 398-408.

Lakshmanan R, Patterson MF, Piggott JR. 2005. Effects of high-pressure processing on proteolytic enzymes and proteins in cold-smoked salmon during refrigerated storage. *Food Chem.* 90 (4): 541-548.

Locker R. H. y Wild D. J. C. 1984. Tenderization of meat by pressure-heat involve weakening of the gap filaments in the myofibril. *Meat Sci.* 10: 207-233.

López-Caballero E., Pérez-Mateos M., Montero P. y Borderías J. 2000b. Oyster preservation by high pressure treatment. *J. Food Prot.* 63 (2): 196-201.

Lopez-Caballero M.E., Carballo J y Jiménez –Colmenero F. 1999. Microbial changes in pressurizedprepackage sliced cooked ham. *J Food Prot.* 62(12): 1411-1415.

López-Caballero M.E., Carballo J., Solas M.T. y Jiménez-Colmenero F. 2002. Responses of *Pseudomonas fluorescens* to combined high pressure/temperature treatments. *Eur. Food Res. Technol.* 214: 511-515.

López-Caballero M.E.; Pérez-Mateos M, Montero P.y Borderías J. 2000a. Extension of self- life of prawns (*Penaeus japonicus*) by vacuum/high-pressure treatment. *J. Food Prot.* 2000. 63, (10): 1381-1388.

Lopez-Caballero ME, Gomez-Guillen MC, Perez-Mateos M, Montero P. 2005. A functional chitosan-enriched fish sausage treated by high pressure. *J. Food Sci.* 70 (3):166-71.

Lullien-Pellerin V. y Balny C. 2002. High pressure as a tool to study some proteins properties: conformational modifications, activity and oligomeric dissociation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 3: 209-221.

Macfarlane J.J. 1973. Prerigor pressurization of muscle. Effect of pH, shear value and taste panel assessment. *J. Food Sci.*, 38 (2): 294-298.

Macfarlane J.J. y Mckenzie I.J. 1976. Pressure-induced solubilization of myofibrillar proteins. *J. Food Sci.* 41: 1442-1446.

Macfarlane J.J. y Morton D. J. 1978. Effects of pressure treatment on the ultrastructure of striated muscle. *Meat Sci.* 2: 281-288.

Macfarlane J.J., Mckenzie I.J., Turner R.H. y Jones P.N. 1981. Pressure treatment of meat. Effects on thermal transitions and shear values. *Meat Sci.* 5: 307-317.

Macfarlane J.J., Mckenzie I.J., Turner R.H. y Jones P.N. 1984. Binding of comminuted meat: effect of high pressure. *Meat Sci.* 10: 307-320.

Masson P. 1992. Pressure denaturation of proteins. In *High Pressure and Biotechnology* (C. Balny, R. Hayashi, K. Heremans and P. Masson, Eds.) Colloque INSERM/John Libbery Eurotext Ltd. Vol. 224: 89-99.

Matser A.M., Stegeman D., Kals J. y Bartels P.V. 2000. Effects of high pressure on colour and texture of fish. *High Pressure Res.* 19: 109-115.

Molina-Garcia AD, Sanz PD. 2002. Anisakis simplex larva killed by high-hydrostatic-pressure processing. *J. Food Prot.* 65 (2): 383-388, 2002

Montero P, Gómez-Estaca, J.; y Gómez-Guillén, MC. 2006. Effect of salting-smoking and high pressure on *Listeria monocytogenes* and spoilage microflora in cold-smoked dolphinfish. Datos no publicados.

Montero P, Pérez-Mateos M.y Borderías A.J. 1998. Chilled storage of high pressure and heat induced gel of blue whiting (*Micromesistius poutassou*) muscle. *Z. Lebens. Unters. Forsch.*, 207: 146-153.

Montero, P., Giménez B., Pérez-Mateos, M. & Gómez-Guillén, M.C. 2005. Oxidation stability of muscle with quercetin and rosemary during thermal and high-pressure gelation. *Food Chem.* (93) 17-23.

Montero, P.; Solas, T. and Pérez-Mateos. 2001. Pressure-induced gel properties of fish mince with ionic and non-ionic gums added. *Food Hydrocolloids.* (15):2, 185-194.

Mussa D.M., Ramaswamy H.S., Smith J.P. 1999. High pressure destruction kinetics of *Listeria monocytogenes* on pork. *J. Food Prot.* 62(1): 40-45.

Nagashima Y., Ebina H., Tanaka M. y Taguchi T. 1993. Effect of high hydrostatic pressure on the thermal gelation of squid mantle meat. *Food Res. Int.*, 26 (2): 119-123.

O'Brien J.K. y Marshall R. T. 1996. Microbial quality of raw ground chicken processed at high isostatic pressure. *J. Food Prot.* 59(2): 146-150.

Okazaki E., Ueda T., Kusaba R., Kamimura S., Fukuda Y. y Arai K. 1997. Effect of heating on pressure-induced gel of chum salmon meat. In *High Pressure Research in the Biosciences and Biotechnology* (K. Heremans, Ed.) Leuven University Press, Belgium, pp. 371-374.

Oshima T., Ushio H. y Koizumi C. 1993. High-pressure processing of fish and fish products. *Trends Food Sci. Technol.* Nov(4): 370-374.

Pérez-Mateos M. y Montero P. 2000. Response surface methodology multivariate analysis of properties of high pressure induced fish mince gel. *Eur. Food Res Technol.* 211 (2): 79-85.

Pérez-Mateos M., Lorenço H., Montero P. y Borderías J. 1997. Rheological and chemical studies on high pressure-induced gels from blue whiting (*Micromesistius poutassou*) muscle. *J. Agric. Food Chem.* 45: 44-49.

Pérez-Mateos, M.; Montero, P. 2000. Response surface methodology multivariate analysis of properties of high pressure induced fish mince gel. *Eur. Food Res Technol.* 211 (2), 79-85.

Pérez-Mateos, M. y Montero, P. 2002. Effect of hydrocolloids and combined pressure/ temperature process in mince gels. *Eur. Food Res. Technol.*, 214:119-124.

Pérez-Mateos, M., M.C. Gómez-Guillén, J.L. Hurtado, M. Solas and P. Montero. 2002. Rosemary extract and omega-3 effect on gelification treatment of mince mackarel. *Food Chem.*72:1-8.

Pérez-Mateos, M.; Solas, T. and Montero, P.2002. Carrageenans and alginate effects on properties of high pressure induced mince fish gels. *Food Hydrocolloids*, 16:225-233.

Picart L, Dumay E, Guiraud JP, Cheftel JC . 2004. Microbial inactivation by pressure-shift freezing: effects on smoked salmon mince inoculated with *Pseudomonas fluorescens*, *Micrococcus luteus* and *Listeria innocua*. *LWT - Food Sci. Tech.* 37 (2): 227-238.

Picart L, Dumay E, Guiraud JP, Cheftel JC. 2005. Combined high pressure-sub-zero temperature processing of smoked salmon mince: phase transition phenomena and inactivation of *Listeria innocua*. *J. Food Eng.* 68 (1): 43-56.

Ponce E., Pla R, Sendra E., Guamis B. y Mor-Mur M.1999. Destruction of *Salmonella enteritidis* inoculated in liquid whole egg by high hydrostatic pressure: comparative studies in selected and non selected media. *Food Microbiol.* 16(4): 357-365.

Ponce E., Pla R., Capellas M., Guamis B. y Mor-Mur M. 1998. Inactivation of *Escherichia coli* inoculated in liquid whole egg by high hydrostatic pressure. *Food Microbiol.* 15(3): 265-272.

Ponce E., Pla R., Sendra E., Yuste J. y Guamis B. 1997. Sensitivity of *Listeria innocua* to high hydrostatic pressure treatment in liquid whole egg. En: High pressure research in biosciences and biotechnology. Heremans K. (ed). Leuven University Press. Leuven (Bélgica). 299-302.

Rademacher B. y Kessler H.G. 1997. High pressure inactivation of microorganisms and enzymes in milk and milk products. En: High pressure research in biosciences and biotechnology. Heremans K. (ed). Leuven University Press. Leuven (Bélgica) 291-293.

Ramirez-Suarez, J.C. y Morrissey, M.T. 2006. Effect of high pressure processing (HPP) on the shelf life of albacore tuna (*Thunnus alalunga*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 7 (1-2): 19- 27.

Ratcliff D., Bouton P.E., Ford A.L., Harris P.V., Macfarlane J.J. y O'Shea J.M. 1977. Pressure-heat treatment of post-rigor muscle. Objective-subjective measurements. *J. Food Sci.* 42, 857-859, 865.

Riffero L.M. y Holmes Z.A. 1983. Characteristics of pre-rigor pressurization versus conventionally processed beef cooked by microwave and by boiling *J. Food Sci.* 48: 346-350, 374.

Rouille J, Lebail A, Ramaswamy HS, Leclerc L . 2002. High pressure thawing of fish and shellfish. *J. Food Eng.* 53 (1): 83-88.

Schubring R, Meyer C, Schlueter O, Boguslawski S, Knorr D . 2003. Impact of high pressure assisted thawing on the quality of fillets from various fish species. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 4 (3): 257-267.

Sequeira-Muñoz, A.; Chevalier, D.; Le Balil, A.; Ramaswamy, H.S. y Simpson, B.K. (2006). Physicochemical changes induced in carp (*Cyprinus carpio*) fillets by high pressure processing at low temperature. *Innovative Food science and Emerging Technologies* 7 (1-2): 13-18.

Shoji T. y Saeki H. 1989. Use of high pressure on food. Hayashi, R. (ed). San-ei Publ. Kioto. Japan.75-87.

Shoji T., Saeki H., Wakameda A. y Nakamura M. 1991. Change in physical properties of high pressure-induced gels of Alaska pollack *surimi* during storage. In *High Pressure Science for Foods*; Hayashi, R. (Ed.); Kyoto Univer.: Uji Kyoto, Japan, 300-307.

Shoji T., Saeki H., Wakameda A., Nakamura M. y Nonaka M. 1990. Gelation of salted paste of Alaska pollack by high hydrostatic pressure and change in myofibrillar protein in it. *Nippon Suisan Gakkaishi* 56: 2069-2076.

Suzuki A., Watanabe M., Ikeuchi Y., Saito M. y Takahashi K. 1993. Effects of high-pressure treatment on the ultrastructure and thermal behaviour of beef intramuscular collagen. *Meat Sci.* 35: 17-25.

Suzuki A., Watanabe M., Iwamura K., Ikeuchi Y. y Saito M. 1990. Effect of high pressure treatment on the ultrastructure and myofibrillar protein of beef skeletal muscle. *Agric. Biol. Chem.* 54: 3085-3091.

Suzuki T. y Macfarlane J.J. 1984. Modification of the heat-setting characteristics of myosin by pressure treatment. *Meat Sci.*, 11: 263-274.

Tabilo-Munizaga G, Barbosa-Canovas GV. 2004. Color and textural parameters of pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white. *Food Res. Int.* 37 (8): 767-775.

Tabilo-Munizaga G, Barbosa-Canovas GV. 2004. Viscoelastic properties of pressurised and heat-induced surimi gels made from Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) and Pacific whiting (*Merluccius productus*). *Food Australia* 56 (11): 543-548.

Tabilo-Munizaga G, Barbosa-Canovas GV. 2005. Pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white: microstructure and water-holding capacity. *LWT - Food Sci. Tech.* 38 (1): 47-57.

Uresti RM, Velazquez G, Ramirez JA, Vazquez M, Antonio-Torres J. 2004. Effect of high-pressure treatments on mechanical and functional properties of restructured products from arrowtooth flounder (*Atheresthes stomias*). *J. Sci. Food Agric.* 84 (13): 1741-1749.

Uresti RM, Velazquez G, Vazquez M, Ramirez JA, Torres JA. 2005. Restructured products from arrowtooth flounder (*Atheresthes stomias*) using high-pressure treatments. *Eur. Food Res. Tech.* 220 (2): 113-119.

Uresti, R.M.; Velazquez, G.; Vázquez, M. Ramírez, J.A. y Torres, J.A. (2006). Effects of combining microbial processing treatments on the mechanical properties of heat induced gels prepared from arrowtooth flounder. *Food Chem.* 94(2): 202- 209.

Yoshioka K. y Yamamoto T. 1998. Changes of ultrastructure and the physical properties of carp muscle by high pressurization. *Fisheries Sci.* 63 (1): 89-94.

Yoshioka K., Kage Y., y Omura H. 1992. Effect of high pressure on texture and ultrastructure of fish and chicken muscles and their gels; in : *High pressure and bioscience*. (C. Balny, R. Hayashi, K. Heremans and P. Masson, eds.) Monrouge: colloques INSERM/ John Libbey Eurotext Ltd. Paris. 224, 325-327.

Yuste J., Mor-Mur M., Capellas M., Guamis B., Pla R. 1998. Microbiological quality of mechanically recovered poultry meat treated with high hydrostatic pressure and nisin. *Food. Microbiol.* 15(4): 407-414.

Yuste J., Pla M., Capellas E., Sendra E., Beltran E. y Mor-Mur M. 2001. Oscillatory high pressure processing applied to mechanically recovered poultry meat for bacterial inactivation. *J. Food Sci.* 66(3): 482-484.

Zhu S, Ramaswamy HS, Simpson BK. 2004. Effect of high-pressure versus conventional thawing on color, drip loss and texture of Atlantic salmon frozen by different methods. *LWT - Food Sci. Tech.* 37(3): 291-299.



## Capítulo IX:

### **PROCESOS DISCONTINUOS, SEMI-CONTINUOS Y CONTINUOS DE ALTAS PRESIONES. SU INFLUENCIA EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA**

---

#### **Buenaventura Guamis**

Centre Especial de Recerca Planta de Tecnologia  
dels Aliments. CeRTA, XiT)  
Universitat Autònoma de Barcelona.  
Tlfno.: +34-935811397  
e-mail: buenaventura.guamis@uab.es

Las altas presiones se han utilizado durante muchos años en el campo de la ciencia de los materiales inorgánicos y en estudios de tipo físico o geológico. Para la producción de cerámicas se combinan presiones a partir de 100 MPa con temperaturas del orden de los 1000°C, (Hoover y col. 1989). Las primeras experiencias sobre alimentos fueron realizadas por el equipo de investigadores de Bert H. Hite, que realizaron pruebas en 1897 para ver los efectos de las presiones (hasta 1000 MPa) en la conservación de leche, carne y zumos de frutas (Johnston, 1995). Debido a que la tecnología no estaba lo suficientemente desarrollada, se tardaron muchos años en tener equipos disponibles para trabajar con fiabilidad suficiente. Ha sido necesario superar problemas ingenieriles de construcción de equipos (algunos de ellos todavía no resueltos para conseguir su aplicación a la industria alimentaria).

Actualmente la industria alimentaria tiene que atender a la creciente demanda de productos seguros, sometidos a procesado mínimo y libres de aditivos, para ello la aplicación de nuevas tecnologías se hace cada vez más necesaria.

Las primeras investigaciones a nivel mundial fueron realizadas por los japoneses en la década de los ochenta, con apoyo institucional. En 1992 los primeros

productos tratados por alta presión salieron al mercado y a finales de 1995 ya eran siete las compañías que comercializaban productos (mermeladas, zumos de fruta, salsas, vino de arroz, pastel de arroz) tratados por esta tecnología (Hayashi, 1997). En 1997 una industria estadounidense inició la comercialización de guacamole (Mermelstein, 1997), y en Francia empezaban a lanzar al mercado zumos de frutas tratados por alta presión. A partir del año 1999 existen en el mercado español productos cárnicos tratados por alta presión.

El interés por esta tecnología en Europa se incrementó a partir del congreso de "La Grande Motte" en Montpellier en el año 1992, formándose los primeros grupos con participación de varios países de la U.E.

El primer grupo español que investigó las altas presiones aplicadas a alimentos fue el "Centro Especial de Investigación Planta de Tecnología de los Alimentos" de la Universidad Autónoma de Barcelona en 1992 y un año después le siguió el Instituto del Frío del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Las altas presiones despertaron gran interés debido a que muchos tratamientos se podían realizar a temperaturas bajas o moderadamente altas, conservándose los parámetros de calidad del producto original (Cheftel, 1992). Aunque al principio se pensaba que su principal ventaja residía en que podía utilizarse como un sustituto parcial o total del tratamiento térmico cuando el objetivo era la destrucción microbiana, sin alterar el aroma, el sabor o el color de los alimentos (Cheftel, 1995), actualmente se sabe que dependiendo del producto inicial, pueden aparecer cambios en las características organolépticas.

Podemos dividir las altas presiones en tres tipos de procesos: discontinuos, semicontinuos (ambos conocidos como HHP) y continuos o HPH. Estos procesos si bien tienen en común las presiones elevadas que se utilizan, difieren en cuanto a sistema de aplicación y en muchos casos sobre el mecanismo de destrucción de microorganismos así como la posibilidad de producir reacciones indeseables con efectos toxicológicos.

## HHP

En el sistema discontinuo los alimentos son envasados en envases flexibles y sumergidos dentro de una columna de un fluido transmisor en el interior de un cilindro. Las presiones que se aplican a nivel industrial oscilan entre los 100 y 700 MPa. En equipos experimentales se alcanzan presiones hasta de 1500 MPa. Aunque el agua se comprime hasta un 15% los alimentos no sufren ninguna deformación y cuando la presión se deja de aplicar recuperan su tamaño original. La presión se transmite de forma instantánea y uniforme, independientemente del tamaño, forma o composición del alimento. La aplicación de presión produce un calentamiento adiabático de unos 3-4°C cada 100 MPa. Dependiendo de la construcción del equipo así como de las bombas encargadas de

aplicar la presión, la duración completa de un ciclo de tratamiento oscila entre 2 y 30 minutos. Esta tecnología se aplica a alimentos sólidos o líquidos.

En la actualidad existen equipos industriales en el mercado que utilizan ésta tecnología con volúmenes hasta de 300 litros.

Los procesos semicontinuos no han tenido por ahora el éxito esperado. Su diseño se basa en un cilindro dividido en dos partes por un pistón móvil, de manera que un fluido transmite la presión al alimento que tiene que ser fluido a través de ese pistón. Posteriormente, en este caso hay que realizar un envasado aséptico

Desde el año 2000 se han realizado numerosas investigaciones y se han publicado artículos con un gran número de alimentos. Las conclusiones más importantes son:

En leche y productos lácteos la HHP produce cambios en el tamaño, hidratación, composición y propiedades de las micelas de caseína. (Altuner y col 2006).

Asimismo se pueden combinar enzimas con tratamientos por HHP para producir péptidos sin efecto alergénico. (Peñas y col 2006).

También se ha constatado la asociación de proteínas séricas con las micelas de caseína modificando las propiedades de coagulación por la renina. (Zobrist y col 2005).

Los tratamientos HHP producen más estabilidad en el licopeno del tomate (Wang y col 2006).

Sobre las proteínas del huevo se incrementa la turbidez, la superficie hidrófoba, la susceptibilidad a la hidrólisis enzimática y disminuye la solubilidad. (Dong-Un Lee y col 2002).

Sobre las proteínas de la soja se produce la desnaturalización de la  $\beta$ -conglycinina (7S) y la glycinina (11S) . Asimismo se produce la formación de geles de tofu con mayor firmeza y microestructura más cerrada. (Hongkang Zhang y col 2004).

El efecto letal que la HHP ejerce sobre los microorganismos radica principalmente en los cambios que la alta presión induce en las reacciones bioquímicas, en los mecanismos genéticos y en la pared y membrana celulares de los microorganismos (Hoover y col., 1989). La pared celular influye mucho en la resistencia de los microorganismos, mostrando en general las bacterias Gram positivas una mayor resistencia que las Gram negativas, no obstante, no se describe entre ambos grupos una diferencia tan marcada, observándose incluso solapamientos. En este sentido es especialmente interesante el trabajo de Wuytack y col. (2002) .Mohos y levaduras son muy sensibles (Earnshaw, 1995;

Cheftel, 1995). La forma de la célula también influye, lo que explicaría que, dentro de los Gram positivos, los más sensibles sean los bacilos no esporulados y los más resistentes los cocos, mientras que las formas existentes entre bacilos cortos y cocos presentan resistencias intermedias (Ludwig y Schreck , 1997).

No obstante, las esporas bacterianas son muy resistentes y pueden sobrevivir a presiones de hasta 1000 MPa. En cualquier caso, incluso dentro de una misma especie de microorganismos pueden encontrarse cepas cuya resistencia a los tratamientos de APH varía enormemente (Gould, 1995; Patterson y col., 1995; De Lamo y col., 2005a). Existen otros factores que también influyen en la sensibilidad de los microorganismos a la APH, como el estado fisiológico de las células y la composición y características de la matriz (Pagan y Mackey, 2000; De Lamo y col., 2005a; 2005b).

## HPH

Auguste Gaulin presentó por primera vez un equipo de homogenización en el "World Fair" de París en el año 1900, Se utilizaban para estabilizar algunos sistemas coloidales en las industrias farmacéuticas y cosméticas.

En la actualidad los homogenizadores se utilizan ampliamente tanto en la industria farmacéutica como alimentaria. Las presiones que se utilizan están alrededor de los 50 MPa.

A partir de los años 80 empresas como Stansted, Avestin, y APV han realizado innovaciones sobre los homogenizadores alcanzando presiones cada vez más elevadas. Las compañías fabrican equipos de laboratorio o industriales de pequeña escala que alcanzan estas presiones con válvulas especialmente resistentes. En algunos casos se consiguen presiones superiores a los 250 MPa. Ésta tecnología ha derivado posteriormente en los equipos de Alta presión de homogenización (HPH) (Thiebaud y col. 2003).

Actualmente, se conoce que los mecanismos más significativos responsables para estabilizar los sistemas mencionados son: la reducción del tamaño de partículas vía cavitación, la fuerza de cizalla y los fenómenos de turbulencia, que ocurren simultáneamente cuando se fuerza el paso de un líquido a alta velocidad, a través de la válvula estrecha de un homogenizador.

En la HPH, un fluido es obligado a pasar por un estrecho espacio (válvula), tras el cual éste sufre una ultrarrápida depresión. Consecuentemente, se producen una combinación de fuerzas de cizalla, cavitación, turbulencia y alta presión, que causa la destrucción de los microorganismos (Lanciotti y col., 1994). Además, debido al incremento de la presión y a la fricción, se produce también un incremento de temperatura de aproximadamente 2-2,5°C por cada 10 MPa (Popper y Knorr, 1990). Por lo tanto, el grado de destrucción microbiana alcanzado dependerá, no sólo de la presión aplicada, sino también

de la temperatura de estabilización alcanzada (Elaamadi y col., 1996; Thiebaud y col., 2003). El tiempo que el fluido sufre los efectos de la UHPH es muy breve ( $< 0,5$  s). La letalidad puede incrementarse considerablemente cuando se hace pasar el fluido por el sistema dos o más veces (Wuytack y col., 2002; Diels y col., 2003). También es posible jugar con el efecto térmico, minimizándolo o potenciándolo al máximo, en función de la sensibilidad de la matriz y del objetivo que se pretende alcanzar. Esto puede hacerse introduciendo el producto a bajas temperaturas y controlando el calentamiento en la válvula (**modalidad de tratamiento sin efecto térmico**), o de forma que la temperatura alcanzada debido al ciclo de homogenización sea la máxima posible, introduciendo el producto a temperaturas iniciales de  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  o más, lo que permitiría alcanzar temperaturas muy superiores aunque instantáneas (**modalidad con efecto térmico**).

La empresa Microfluidics desarrolló otro tipo de dispositivo de homogenización llamado "Microfluidizer"; en este caso, el fluido está dividido en dos canales a la entrada de la válvula. Los dos fluidos chocan entonces (desde direcciones opuestas) en la cámara de reacción, llevando a la ruptura de gotas de aceite o glóbulos de grasa (Stang y col., 2001). Sin embargo, con este dispositivo raramente pueden lograrse presiones de homogenización que excedan  $150\text{ MPa}$ . Estos dispositivos se conocen como **Homogeneizadores de alta presión**. (HPH).

La HPH se usa en la industria química, bioquímica y farmacéutica, pero esta nueva tecnología tiene que ser aplicada todavía en la industria alimentaria (Floury y col., 2000). La aplicación de la HPH, usando presiones  $> 200\text{ MPa}$ , presenta un intervalo de potenciales aplicaciones para el procesado de productos lácteos, licuados vegetales, emulsiones formuladas y en general alimentos formados por dispersiones coloidales.

Los efectos esperados podrían incluir:

- a) La producción de emulsiones muy finas.
- b) La inactivación microbiana y/o enzimática significativa, incluso al operar a temperaturas moderadas ( $40\text{-}50^{\circ}\text{C}$ ).
- c) La modificación de las propiedades reológicas y / o de la coagulación de leches y emulsiones lácteas.
- d) El incremento de la retención de humedad en productos coagulados como los yogures y quesos.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías de conservación de alimentos y después de algunos años de investigación, empieza a producirse la transferencia de éstas tecnologías a las empresas. La pregunta más importante que realizan las empresas es si estas tecnologías son "seguras", desde el punto de vista de seguridad alimentaria.

Uno de los problemas que presenta la HPH es que puede generar lesiones subletales con el efecto correspondiente sobre la seguridad del alimento tratado.

Algunos microorganismos, dependiendo del alimento, pueden recuperarse y crecer posteriormente (De Lamo y col., 2005a).

Los efectos de la HPH sobre las estructuras celulares serían más dañinos que los ocasionados por la HHP, por lo que no se generarían lesiones subletales (efecto de todo o nada). Vachon y col. (2002) observaron que células de *Listeria monocytogenes* sometidas a homogeneización por alta presión aparecían rotas en imágenes obtenidas por microscopía electrónica de transmisión, lo que parecería explicar el hecho que Wuytack y col. (2002) no observaran diferencias significativas en los recuentos obtenidos entre los medios de cultivo para el recuento de microorganismos viables y lesionados.

## REFERENCIAS

- Ananta, E.; Heinz, V. y Knorr, D. (2004) *Food Microbiology* 21:567–577
- Altuner, E.M., Alpas, H., Erdem, Y.K., Bozoglu, F. (2006)
- Álvarez, I.; Virto, R.; Raso, R. y Condón, S. (2003) *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4: 195-202
- Cheftel J.C. 1992. En: *High Pressure and Biotechnology*, 195-210. (Eds.) C. Balny, R. Hayashi, K. Heremans, P. Masson. John Libbey Eurotext, Montrouge.
- Cheftel, J.C. (1995) *Food Science and Technology International* 1: 75-90.
- Chen, H. y Hoover, D.G. (2003) *International Journal of Food Microbiology* 87: 161-171
- De Lamo-Castellvi, S.; Roig-Sagués, A.X.; Capellas, M.; Hernández-Herrero, M.M. y Guamis, B. (2005) *International Journal of Food Microbiology* In press.
- De Lamo-Castellvi, S.; Capellas, M.; López-Pedemonte, T.; Hernández-Herrero, M.M.; Guamis, B. y Roig-Sagués, A.X. (2005) *Journal of Food Protection*, in press
- Diels, A.M.J.; Wuytack, Y. y Michiels C.W. (2003) *International Journal of Food Microbiology*. 87 : 55-62
- Earnshaw R. G. (1995) En: *High pressure processing of foods*, 37-46. Nottingham University Press, Leicestershire.
- Elaamadi, L., Turcotte, T., Goulet, J. (1996). En: *Heat treatments and alternative methods*. I D F, 214-221
- Fluory, J., Desrumaux, A., Lardières, J. (2000). Effect of high pressure homogenization on droplet size distribution and rheological properties of model oil-in-water emulsions. *Innovat. Food Sci. & Emerg. Technol.*, 1, 127-134.
- Gould G. W. (1995). En: *High pressure processing of foods*, 27-36. Nottingham University Press, Leicestershire.
- Hayashi R. 1997. *High Pressure Research in the Biosciences and Biotechnology*, 1-4. (Ed.) K.
- Heldman, D.R. y Newsome, R.L. (2003) *Food Technology* 57: 40-46-100
- Hoover D. G., Metrick C., Papineau A. M., Farkas D. F. y Knorr D. (1989) *Food Technology* 43(3) 99-107.
- Kang, D.H. y Fung, D.Y.C. (1999) *Journal of Food Protection* 11: 1346-1349

- Lanciotti, R.; Sinigaglia, M.; Angelini, P. y Guerzoni, M.E. (1994) *Letters in Applied Microbiology* 18: 319-322
- Ludwig, H. y Schreck, Ch. (1997) En: *High Pressure Research in the bio-sciences and Biotechnology*, Leuven University Press, Leuven Bélgica
- Mafart, P.; Couvert, O.; Gaillard, S. y Leguerinel, I (2002) *International Journal of Food Microbiology* 72: 107-113
- Mermelstein N.H. 1997. *Food Technology* 51, 95-96.
- Pagan, R. y Mackey, B. (2000) *Applied and Environmental Microbiology* 66: 2829-2834
- Patterson, M.F.; Quinn, M.; Simpson, R. y Gilmour, A. (1995) *Journal of Food Protection* 58 : 524-529
- Pen?as, E., Pre?stamo, G., Luisa Baeza, M., Marti?nez-Molero, M.I., Gomez, R.(2006)
- Popper, L. y Knorr, D. (1990) *Food Technology* 7:84-89
- Qiu, W. , Jiang, H., Wang, H., Gao, Y.(2006)
- Ritz, M.; Tholozan, J.L.; Federighi, M. y Pilet, M.F. (2001) *Applied and Environmental Microbiology* 67: 2240-2247
- Stang, M., Schuchmann, H., Schubert, H. (2001). Emulsification in high-pressure homogenizers. *Eng. Live Sci.*, 1, 151-156.
- Thiebaud, m.; Dumay, E.; Picart, L.; Guiraud, J.P. y Cheftel, J.C. (2003) *International Dairy Journal* 13: 427-439.
- Vachon, J.F.; Kheadr, E.E.; Giasson,J; Paquin, P. y Fliss, I. (2002) *Journal of Food Protection* 65: 345-352
- Wuytack , E.Y.; Diles, A.M.J. y Michiels, C.W. (2002) *International Journal of Food Microbiology* 77: 205-212 .
- Zobrist, M.R., T. Huppertz, T. Uniacke, P.F. Fox and A.L. Kelly (2005)



## Capítulo X:

# POTENCIALES USOS DE LOS ULTRASONIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

---

**Rafael Pagán Tomás y Diego García Gonzalo**

Dpto. Producción Animal y Ciencia de los Alimentos.  
Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza.  
Miguel Servet 177  
50013 Zaragoza. España.  
Tlfno.: +34-976762675  
e-mail: pagan@posta.unizar.es

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de los ultrasonidos en la industria alimentaria ha sido objeto de intensa investigación y desarrollo en las últimas décadas. Inicialmente, la mayoría de las aplicaciones se han basado en la utilización de ultrasonidos de alta frecuencia (del orden de MHz), también denominados de baja potencia o ultrasonidos de diagnóstico. Gracias a su carácter no invasivo, los ultrasonidos de baja potencia se han revelado como una herramienta de gran utilidad en el control de calidad de los alimentos. Por ejemplo, es posible determinar el grado de homogeneización o de emulsificación de zumos de frutas o mayonesa, y así determinar su estabilidad a largo plazo (Mason y col., 1996). Sin embargo, en los últimos años ha aumentado el interés por el uso de los ultrasonidos de baja frecuencia (del orden de kHz), también denominados de alta potencia, dada su capacidad para producir cambios físicos, químicos y bioquímicos permanentes en los medios líquidos o en los gases en los que se propagan (Povey y Mason, 1998). En este sentido, se ha propuesto su uso como tecnología alternativa para facilitar el mezclado o la emulsificación de componentes inmiscibles, la formación y destrucción de espumas, la aglomeración y precipitación de partículas sólidas suspendidas en el aire, la mejora en la eficiencia de los procesos de filtración, de

los de deshidratación, la extracción de componentes de interés en los alimentos y la deshidratación osmótica gracias a la mejora en la penetración de los solventes, la maduración de licores acelerando las reacciones de oxidación, la limpieza y descontaminación superficial de equipos y alimentos, la esterilización de material quirúrgico y como alternativa a la conservación de los alimentos por el calor gracias a su capacidad para inactivar microorganismos y enzimas (Tabla 1). En este capítulo se presenta una breve revisión sobre los fundamentos y sistemas de generación de ultrasonidos, así como de los principales usos de los ultrasonidos de alta potencia en la industria alimentaria (Boucher y col., 1967; Mason y col., 1996; Povey y Mason, 1998).

En medio gaseoso	En medio sólido
<p>Destrucción de espumas</p> <p>Aglomeración de partículas en suspensión de humos</p> <p>Mejora del proceso de deshidratación de alimentos sólidos</p>	<p>Limpieza y descontaminación superficial:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Separación / filtrado</li> <li>- Desgasificación</li> </ul> <p>Atomización: aplicación de coberturas grasas, sabores, etc.</p> <p>Mejora de la transferencia de masa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Extracción de componentes de interés</li> <li>- Deshidratación osmótica</li> </ul> <p>Mezclado, homogeneización y emulsificación</p> <p>Conservación de alimentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inactivación microbiana</li> <li>- Inactivación enzimática</li> </ul> <p>Otros: cortado, etc.</p>

Tabla 1 - Principales usos de los ultrasonidos de alta potencia en la industria alimentaria. Clasificación según el medio de transmisión.

## 2. FUNDAMENTOS

El sonido es una onda mecánica longitudinal capaz de propagarse a través del aire, el agua y la mayoría de los materiales. Cuando una onda ultrasónica produce un movimiento armónico, sobre la posición de equilibrio, de las partículas que lo conforman. Se denominan ultrasonidos a aquellas ondas sonoras que se propagan a una frecuencia superior (16-18 kHz) a la que el oído humano es capaz de percibir. Aquellos ultrasonidos con frecuencias comprendidas entre los 20 y 40 kHz se denominan ultrasonidos de alta potencia; los comprendidos entre 40 kHz y 1 MHz ultrasonidos de baja potencia, y los comprendidos entre 0,5 y 20 MHz se denominan ultrasonidos de diagnóstico (Mason y col., 1996).

Las ondas ultrasónicas se definen por su frecuencia o número de oscilaciones por segundo, su amplitud o máximo valor de elongación, y su longitud de onda o distancia entre dos puntos consecutivos que se encuentren vibrando en fase.

La energía transportada por una onda ultrasónica es proporcional al cuadrado de la amplitud, y la amplitud de la onda es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. La intensidad se define como la energía transmitida por la onda por segundo y unidad de superficie y, la amplitud de presión, como la diferencia máxima entre la presión originada por la onda y la presión normal (Suslick, 1990).

Cuando las ondas ultrasónicas atraviesan un medio líquido dan lugar a lo que se denomina "cavitación". Este fenómeno consiste en la formación de burbujas de gas o vapor en el seno del medio ultrasonificado. Dependiendo de su intensidad, las ondas ultrasónicas pueden provocar dos tipos de cavitación: la "cavitación estable" y la "cavitación transitoria". La cavitación estable da lugar a burbujas pequeñas que oscilan de modo regular durante muchos ciclos produciéndose pequeños aumentos de tamaño. La cavitación transitoria se produce cuando el tamaño de las burbujas aumenta rápidamente tras pocos ciclos de compresión y descompresión terminando generalmente con su colapso (Neppiras, 1980). Ambas cavitaciones pueden producirse simultáneamente y pueden pasar de un tipo de cavitación a otro.

La cavitación transitoria consta de tres fases: nucleación, crecimiento e implosión (Figura 1). El núcleo de cavitación más corriente está constituido por pequeñas burbujas de gas atrapadas en el interior de las irregularidades de partículas sólidas en suspensión. Durante la cavitación transitoria los ciclos de compresión y expansión generados por la onda ultrasónica dan lugar al crecimiento de las burbujas debido a la presión negativa generada por la onda de expansión que reduce la presión absoluta del líquido por debajo de la presión de vapor y que tiende a separar las moléculas produciendo cavidades de vapor en el seno del medio. Las burbujas alcanzan así un tamaño crítico, denominado tamaño de resonancia, a partir del cual absorben la energía con mayor eficacia. Este tamaño de resonancia depende de la frecuencia, y es de aproximadamente 170  $\mu\text{m}$  a 20 kHz (Suslick, 1990). Cuando la burbuja no puede absorber la suficiente cantidad de energía de la onda sonora, se hace inestable y condensa súbitamente creando un vacío relativo que provoca su implosión (Berliner, 1984).

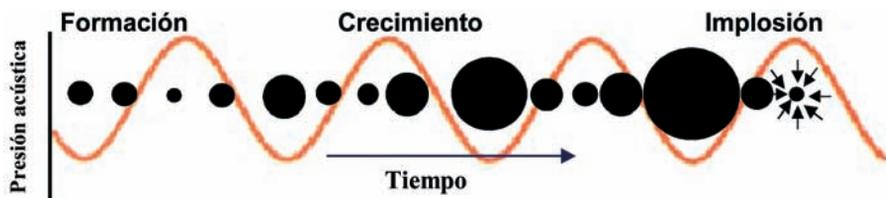


Figura 1 - Cavitación transitoria

Como consecuencia de la implosión de estas burbujas se libera, localmente, una gran cantidad de energía, alcanzándose, en el seno del líquido, elevadas temperaturas (5000°C) y presiones (100 MPa). Se estima que, en el punto de la

implosión, estas condiciones se mantienen durante un periodo de tiempo inferior a 1 ms y que las velocidades de calentamiento y enfriamiento del líquido son del orden de  $10^9$ °C/s. La cavitación transitoria se produce más fácilmente a bajas frecuencias ultrasónicas (del orden de kHz). Además, a estas bajas frecuencias el tamaño final de las burbujas y la cantidad de energía liberada durante la implosión son mayores. La cavitación estable se produce a frecuencias acústicas del orden de 1 a 10 MHz, y provoca la aparición de unas microcorrientes capaces de alcanzar tal velocidad que incluso pueden provocar la inactivación de las células. A frecuencias superiores a los 2,5 MHz la cavitación no se produce. En la actualidad se cree que es la cavitación transitoria la responsable de la mayoría de los efectos de las ondas ultrasónicas de alta potencia (Nepiras, 1980; Suslick, 1990).

Por otra parte, cuando las ondas ultrasónicas se propagan en un medio gaseoso se produce una rápida atenuación de su intensidad y una ineficiente transmisión de la energía acústica a los materiales sólidos irradiados, lo que ha dificultado el desarrollo de aplicaciones en medios gaseosos. En este sentido, el grupo de investigación del Dr. Gallego del Instituto de Acústica del CSIC (Madrid) ha realizado una intensa labor investigadora en los últimos años que le ha conducido al desarrollo de una nueva fuente ultrasónica más potente que minimiza las pérdidas de energía de los ultrasonidos de alta potencia en medios gaseosos (Gallego y col., 1994). Utilizando este sistema, los ultrasonidos de alta potencia se han utilizado de modo eficaz como agentes antiespumantes, precipitantes de partículas suspendidas en aire y han permitido mejorar el proceso de deshidratación de alimentos sólidos.

### 3. SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ULTRASONIDOS: EQUIPOS

Toda la tecnología actual ultrasónica proviene del aprovechamiento de dos propiedades que poseen ciertos materiales: la piezoelectricidad y la magnetoestricción.

Los materiales piezoeléctricos desarrollan una polarización eléctrica cuando son sometidos a un estrés mecánico, e inversamente sufren una deformación cuando son polarizados eléctricamente. El grado de la deformación depende del grado de polarización y viceversa. Si la polarización es alterna la deformación también lo es y el espesor del material oscila a la frecuencia a la que alterna la polarización. El efecto piezoeléctrico y su inverso proporcionan un medio de conversión de las oscilaciones eléctricas en mecánicas y viceversa. Un generador de ultrasonidos piezoeléctrico está basado en la generación de oscilaciones eléctricas de una frecuencia determinada y su posterior conversión en oscilaciones mecánicas mediante un material con propiedades piezoeléctricas. El componente activo del generador de ultrasonidos que convierte las oscilaciones eléctricas en mecánicas recibe el nombre de transductor. El transductor consta de un material piezoeléctrico recubierto por una película conductora donde se aplican voltajes alternos.

Diferentes materiales como el cuarzo, turmalina, titanato de bario, cerámicas tales como el zirconato de titanio, películas de polímeros polares como el PVC presentan propiedades piezoeléctricas. Actualmente son las cerámicas piezoeléctricas los materiales que más frecuentemente se usan para generar ultrasonidos ya que son relativamente baratas, pueden modelarse en distintas formas y adecuarse a distintas exigencias experimentales.

Un método alternativo de convertir la corriente de alta frecuencia en vibraciones ultrasónicas es el uso de transductores magnetostrictivos. El efecto magnetostrictivo se basa en las deformaciones mecánicas que experimentan ciertos materiales al someterlos a un intenso campo magnético. Una varilla de material con estas propiedades, colocada en el interior de una solenoide sufrirá variaciones de longitud al generarse un campo magnético. Si a través de la bobina pasa una corriente alterna de una determinada frecuencia la longitud de la varilla disminuirá o aumentará de tamaño y volverá a su longitud original una vez cada medio ciclo de la oscilación eléctrica. El hierro y el níquel, entre otros, son materiales con propiedades magnetostrictivas.

Los transductores magnetostrictivos se usan generalmente para aplicaciones de alta potencia y frecuencias bajas. Sin embargo, debido a que los materiales magnetostrictivos son poco eficaces y quebradizos, los transductores magnetostrictivos han sido reemplazados progresivamente por los piezoeléctricos y son raramente utilizados en la actualidad.

Los ultrasonidos pueden ser inducidos en un sistema por inmersión de la fuente ultrasónica en el medio de reacción (sonicación directa) o sumergiendo un vaso que contiene el medio de reacción en el interior de un baño que contiene un líquido sometido a sonicación (sonicación indirecta) (Berlan y Mason, 1992).

Los baños de ultrasonidos constituyen, quizás, el sistema de generación de ultrasonidos indirecto más conocido y accesible en un laboratorio dado su bajo coste y fácil mantenimiento. Inicialmente diseñado para la limpieza de material de laboratorio, en el baño ultrasónico se usa un material piezoeléctrico, generalmente, una lámina de zirconato de titanio, que se encuentra en su base. Es necesario que exista un buen contacto acústico entre el transductor y la base del baño ya que en caso contrario se transmitirá muy poca potencia del transductor al medio. En cualquier caso, aunque se consiga un buen contacto acústico entre la base del baño y el material piezoeléctrico, la intensidad acústica generada es mucho menor que en la sonicación directa.

Además de la baja intensidad generada por los baños ultrasónicos en el medio de tratamiento, (del orden de 0,1 a 1 w/cm<sup>2</sup>), este parámetro resulta difícil de controlar y puede variar de un baño a otro e incluso a lo largo de la vida del mismo. Otro inconveniente de los baños ultrasónicos lo constituye el hecho de que la posición del recipiente que contiene el líquido a tratar en el interior del baño es crítica pues pueden crearse ondas estacionarias que dan

lugar a puntos nodales donde no se produce la cavitación (Suslick, 1990). La altura del líquido a tratar y del líquido del baño es sumamente importante.

La fuente de ultrasonidos más potente usada en el laboratorio es la sonda de sonicación. La intensidad que puede aportar una sonda de sonicación puede llegar a ser de cientos de  $w/cm^2$ . El instrumento consta de un generador de potencia que transforma la corriente eléctrica convencional (50-60 Hz) en corriente alterna, que generalmente es de 20 kHz. Esta corriente alterna es enviada a un transductor donde se transforma en vibraciones mecánicas. El corazón del transductor es una lámina de zirconato de titanio, que al ser sometido a un voltaje alterno, se contrae y se expande. El cristal vibra en dirección longitudinal y transmite su movimiento a un cuerno construido con una aleación de titanio. El cuerno transmite y amplifica la energía enfocándola en una punta que se introduce en el interior del recipiente que contiene el medio a sonicar. La punta del cuerno actúa como un pistón en el interior del medio. Los movimientos de la punta generan las ondas que se propagan a través del líquido produciendo la cavitación.

Este tipo de sonicadores trabajan a una frecuencia constante y a una amplitud regulable y también constante. Cuando la carga o presión sobre la superficie del cuerno aumenta, el generador desarrolla más potencia para mantener la amplitud deseada en el proceso. Para una aplicación determinada será necesaria más potencia cuando se usa un cuerno con mayor superficie de radiación o cuando se selecciona una mayor amplitud de trabajo (Berliner, 1984).

Este sistema de sonicación directa presenta diversas ventajas frente a los baños ultrasónicos. Además de ser capaz de generar una mayor intensidad de sonicación, estos sistemas se caracterizan por que la intensidad acústica se puede variar y reproducir fácilmente. La frecuencia de los ultrasonidos suele ser fija (20 kHz). Una desventaja de este sistema es la erosión de la superficie radiante, normalmente una punta de titanio, aunque no suele crear problemas debido a la baja reactividad de este material (Berliner, 1984).

El "cup-horn" se puede considerar como un sistema de sonicación mezcla de baño y sonda ultrasónica. Consiste, en esencia, en un pequeño baño ultrasónico cuyo generador de ultrasonidos es una sonda que emerge de su base. Este sistema, que fue diseñado originalmente para la destrucción de células, ha sido también utilizado para el estudio de reacciones sonoquímicas. Se utiliza para sonicación indirecta y proporciona mayor intensidad acústica y un mejor control de la frecuencia que en el caso del baño ultrasónico (Berlan y Mason, 1992). Al no estar la superficie de radiación en contacto directo con la solución, la intensidad acústica es más baja que en el caso de la sonda ultrasónica, pero no hay posibilidad de contaminación con el titanio procedente de la erosión de la punta. Un inconveniente de este sistema es que es muy sensible a los niveles de líquido y la forma del vaso de la reacción (Suslick, 1990).

El silbato ultrasónico es un sistema de generación de ultrasonidos utilizado para la sonicación directa de un líquido en flujo continuo. Consiste en una lámina vibrante sobre la que incide el líquido a sonicar a elevada velocidad. La vibración de dicha lámina genera los ultrasonidos. Se trata de un sistema muy económico desde el punto de vista energético, que ha sido utilizado a nivel industrial para homogeneizar y emulsificar (Berlan y Mason, 1992).

En los últimos años diferentes compañías han desarrollado distintos sistemas para la sonicación en continuo. Estos sistemas, que pueden ser directos o indirectos, pueden encontrarse a escala de laboratorio con capacidad para procesar varios litros o miles de litros por hora si son a escala industrial (Berlan y Mason, 1992).

## **4. USOS DE LOS ULTRASONIDOS DE ALTA POTENCIA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

A continuación, se describen algunas de las aplicaciones de los ultrasonidos de alta potencia que mayor interés han despertado en la industria alimentaria (Tabla 1).

### **4.1. Destrucción de espumas**

Los ultrasonidos de alta potencia permiten la destrucción de aquellas espumas que puedan formarse durante el procesado de los alimentos y que normalmente dificultan el control de los mismos, como por ejemplo durante la elaboración de cerveza debido al proceso de fermentación. De este modo, se puede evitar el uso de los sistemas antiespumantes tradicionales, que en ocasiones resultan caros, difíciles de aplicar, y que como en el caso de los agentes químicos, pueden dejar residuos en los alimentos (Povey y Mason, 1998). El Instituto de Acústica ha patentado dos instalaciones para este fin, la primera para eliminar espuma en la línea de llenado y cierre de bebidas carbónicas, y la segunda para fermentadores de hasta 6 m de diámetro como los utilizados en la elaboración de cerveza. En este último caso, su aplicación industrial se encuentra en fase de desarrollo avanzada (Gallego y col., 2002).

### **4.2. Aglomeración de partículas en suspensión en humos**

Otro ejemplo de la eficacia de los ultrasonidos aplicados al aire consiste en la sonicación de humos o gases con objeto de facilitar la eliminación de partículas y micropartículas y reducir, de este modo, los niveles de contaminación. Su eliminación se ve enormemente favorecida gracias al efecto aglomerante de los ultrasonidos. De este modo, las micropartículas se unen dando lugar a partículas mucho más grandes, y por tanto más fáciles de separar o precipitar mediante los sistemas tradicionales. El grupo de investigación del Dr. Gallego también ha desarrollado en este caso equipos tanto a escala de planta piloto como a escala industrial (Gallego y col., 1999a).

### 4.3. Mejora del proceso de deshidratación de alimentos sólidos

Por último, en relación con la aplicación de ultrasonidos de alta potencia al aire, también este mismo grupo de investigación ha patentado el diseño de un equipo que mejora el proceso de deshidratación de vegetales. Además de aplicarse al aire, se ha observado que su aplicación directamente sobre los alimentos sólidos bajo presión estática consigue acelerar el proceso de deshidratación (Gallego y col., 1999b). El proceso permite utilizar una corriente de aire seco a más baja temperatura, lo que permite la práctica inhibición de reacciones de alteración como las de Maillard.

### 4.4. Limpieza y descontaminación superficial

La aplicación de los ultrasonidos de alta potencia sobre líquidos permite, entre otros, mejorar la limpieza superficial de equipos, materiales o alimentos (Povey y Mason, 1998). Concretamente nuestro grupo de investigación ha concluido recientemente un proyecto en el que se ha explorado los beneficios de la utilización de los ultrasonidos de alta potencia en la limpieza y descontaminación superficial de alimentos vegetales tales como lechuga o zanahoria sumergidos en baños ultrasónicos en presencia de agentes clorados y bajo vacío. Esta investigación ha demostrado que el grado de descontaminación superficial de estos alimentos mejora no tanto por el efecto letal de los ultrasonidos, que bajo estas condiciones de tratamiento es muy reducido, sino porque los ultrasonidos facilitan la extracción del aire ocluido en los estomas de las células vegetales, que se hallan muy contaminados con bacterias, permitiendo de este modo la entrada y por tanto la acción de los agentes desinfectantes (Virto, 2005). Otros grupos de investigación han estudiado la descontaminación de otros alimentos como los huevos (Povey y Mason, 1998).

De gran interés industrial es también la limpieza de superficies, en las que las corrientes creadas como consecuencia de la cavitación inciden violentamente facilitando su limpieza.

### 4.5. Separación/filtrado

Los ultrasonidos de alta potencia también pueden mejorar la eficacia de las operaciones de separación, filtrado y o precipitación en alimentos líquidos. En este caso, los ultrasonidos van a proporcionar la suficiente energía vibratoria como para mantener dichas partículas parcialmente suspendidas de modo que se evita la colmatación de los filtros o membranas, prolongando su vida útil (Tarleton y Wakeman, 1997).

### 4.6. Desgasificación

Por otro lado, es también conocida su acción desgasificadora relacionada también con la intensa agitación que provocan. La eliminación de aire o gases puede ser importante en muchos alimentos, y en ocasiones puede resultar

extremadamente difícil, especialmente en líquidos muy viscosos como el chocolate (Povey y Mason, 1998).

#### **4.7. Mejora de la transferencia de masa**

Otra de las aplicaciones que ofrece muchas posibilidades es la de la mejora de los procesos de transferencia de masa, incrementado el grado de extracción de componentes de interés para la industria alimentaria tanto de matrices vegetales, animales o microbianas, y por otra parte, facilitando la penetración de soluciones hipertónicas, salmueras o soluciones de azúcares, y la salida del agua de los alimentos.

En el primer caso, se ha observado cómo la combinación de los ultrasonidos con los solventes adecuados mejora la extracción, no sólo porque los ultrasonidos causan un mayor grado de penetración de dichos solventes, sino porque pueden provocar la ruptura de las envolturas celulares facilitando la salida de dichos componentes. Como ejemplos cabe citar la extracción de azúcar de remolacha, de proteínas de la soja, de sólidos de té de las hojas, o de la enzima renina de los estómagos de los terneros para la fabricación de los quesos, etc. (Povey y Mason, 1998).

En relación con la deshidratación osmótica, cabe destacar que los ultrasonidos pueden acelerar la entrada de azúcar o sal, y la salida del agua gracias a que la cavitación va a provocar una intensa agitación del medio líquido permitiendo, de este modo, la sustitución de los sistemas de agitación mecánicos y la utilización de temperaturas más bajas. La efectividad de estos tratamientos se ha ensayado en cubos y rodajas de manzana en contacto con soluciones de sacarosa, en rodajas de solomillo de cerdo y en quesos sumergidos en las correspondientes salmueras (Simal y col., 1998).

#### **4.8. Atomización: aplicación de coberturas grasas, aromas, etc.**

Los ultrasonidos de alta potencia pueden mejorar la atomización de alimentos líquidos o semisólidos como grasas, o mezclas de aditivos saborizantes o aromatizantes que pueden ser fina y homogéneamente dispersados como una fina capa recubriendo los alimentos y favoreciendo su impregnación (Povey y Mason, 1998). En este sentido, las empresas fabricantes de equipos han desarrollado un amplio catálogo de boquillas, de distintos tamaños y formas, que permiten conseguir distintos grados de atomización.

#### **4.9. Mezclado, homogeneización y emulsificación**

Una de las principales aplicaciones de los ultrasonidos de alta potencia en la industria alimentaria pretende la mejora de los procesos de mezcla, homogeneización y formación de emulsiones alimentarias. Si la cavitación se produce en la zona de contacto entre dos líquidos inmiscibles, la onda de choque resultante provoca su mezcla de modo muy eficiente. Para esta aplicación el silbato

ultrasónico resulta útil y económico: regulando la presión de la bomba se consigue generar ultrasonidos a la frecuencia adecuada, logrando de este modo la cavitación y por tanto, el deseado tamaño de partícula o grado de dispersión. Comparando sus resultados con los de una agitación mecánica, se consigue un menor tamaño de las gotas, lo que las hace más estables, por lo que se requiere menor adición de surfactantes. Se ha utilizado para la fabricación de sopas a base de agua, leche en polvo, grasa, harina y almidón, zumos de fruta, ketchup o mayonesa (Povey y Mason, 1998).

#### 4.10. Conservación de los alimentos mediante ultrasonidos

La conservación de los alimentos por el calor es prácticamente el único método capaz de garantizar la calidad higiénica y sanitaria de los alimentos que el hombre consume en la actualidad. Los tratamientos térmicos permiten alargar la vida útil de los alimentos, sin embargo, producen modificaciones importantes en sus características sensoriales y nutritivas que, en ocasiones, determinan un empeoramiento de la calidad de los mismos. Estos efectos no deseables y la presión ejercida por los mercados ha obligado a la Tecnología de los Alimentos a emprender la búsqueda de nuevos sistemas de inactivación microbiana alternativos al calor que satisfagan las demandas de un consumidor cada día mejor informado y consecuentemente más exigente (Barbosa-Cánovas y col., 1998). Entre estas alternativas se pueden destacar las altas presiones hidrostáticas, los pulsos eléctricos de alto voltaje, las radiaciones ionizantes y los ultrasonidos.

A pesar de que el efecto inactivante de los ultrasonidos sobre los microorganismos se conoce desde hace varias décadas, hasta la fecha no se han utilizado como sistema de conservación de los alimentos debido fundamentalmente a su escasa eficacia letal. El incremento del efecto letal de los tratamientos ultrasónicos al aplicarlos bajo presión y al combinar estos tratamientos con el calor abre nuevas posibilidades a su utilización como alternativa a la conservación de los alimentos por el calor. En este sentido, diversas investigaciones han demostrado la capacidad de la utilización conjunta de ultrasonidos bajo presión y calor para inactivar a determinados enzimas de interés en la conservación de los alimentos (Sala y col., 1995).

##### 4.10.1. Inactivación de microorganismos mediante ultrasonidos

Si bien las primeras experiencias sobre inactivación microbiana mediante ultrasonidos se llevaron a cabo por Harvey y Loomis ya en 1929, el efecto descubierto por estos autores era tan escaso que la idea de la utilización de los ultrasonidos en la conservación de los alimentos fue prácticamente abandonada, y no ha sido retomada con este objetivo hasta fechas relativamente recientes. Posiblemente, a ello habrá contribuido el éxito de su utilización para otros propósitos y muy probablemente el desarrollo alcanzado por la tecnología pertinente que ha facilitado su difusión. Durante este siglo se han realizado algunas investigaciones encaminadas a estudiar el efecto inactivador de estos tratamientos pero ha sido la posibilidad de utilizarlos en combinación con otros agentes inactivan-

tes la razón que ha impulsado de modo definitivo su utilización en la conservación de los alimentos. A comienzos de los años 70, se observó que la aplicación de un tratamiento ultrasónico previo, sensibilizaba a determinados microorganismos esporulados frente a un tratamiento térmico (Burgos y col. 1972) y, posteriormente, que la aplicación de ultrasonidos simultáneamente a un tratamiento térmico (termoultrasonicación) era más eficaz que un tratamiento térmico a la misma temperatura (García y col., 1989). A principio de los años 90, el grupo de investigación dirigido por el Dr. Sala inició el estudio de la inactivación de microorganismos mediante tratamientos ultrasónicos bajo presión (Manosonicación, MS) y tratamientos combinados de ultrasonidos bajo presión y calor (Manotermosonicación, MTS) (Raso y col., 1998; Pagán y col., 1999a, b, c; Mañas y col., 2000a, b; Álvarez y col., 2003).

Una de las principales aportaciones del grupo fue la construcción de un equipo, denominado Manotermosonicador (Figura 2) capaz de evaluar la resistencia microbiana frente al calor, a los ultrasonidos y a un tratamiento combinado de calor y ultrasonidos, sin o bajo presión, en medios líquidos artificiales (tampones) o naturales (con estricto control de su pH), en un amplio rango de temperaturas (hasta 140°C), presiones (hasta 100 kPa) e intensidades de sonicación



Figura 2 - Manotermosonicador

(Raso y col., 1998). La instalación consta de una parte mecánica constituida por un recipiente para el tratamiento, un sistema de agitación, un sistema de refrigeración constituida por un módulo principal de regulación de la temperatura de la cámara de tratamiento y del tiempo de apertura de la válvula de muestreo, la unidad electrónica del pH-metro y el módulo principal del generador de ultrasonidos. Los generadores de ultrasonidos utilizados en esta instalación son del

tipo "sonda de sonicación" (Branson Ultrasonics) y permiten modular la intensidad de ultrasonificación modificando la amplitud desde 35 hasta 150  $\mu\text{m}$  a una frecuencia constante de 20 kHz.

Este equipo ha permitido describir la resistencia a los tratamientos MS y MTS de muy diversas especies microbianas, estudiar la cinética de inactivación microbiana, la influencia de las variables del proceso y de los factores medioambientales que pueden modificar la resistencia microbiana, así como los mecanismos de inactivación microbiana frente a estos tratamientos por separado o en combinación.

La inactivación microbiana por ultrasonidos depende de numerosos factores. Estos, pueden clasificarse en tres grupos: condiciones de tratamiento, características de los microorganismos y características del medio de tratamiento (Sala y col., 1995; Raso y col., 1998; Pagán y col., 1999a, b; Mañas y col., 2000a, b; etc.).

El tiempo, la amplitud, la presión y temperatura del medio son las principales condiciones de tratamiento que influyen sobre la inactivación microbiana por ultrasonidos.

La inactivación microbiana por ultrasonidos aumenta al incrementar el *tiempo de tratamiento*. En general, se observa una relación exponencial entre el número de supervivientes a un tratamiento ultrasónico y el tiempo de tratamiento (Raso y col., 1998) (Figura 3). Por lo tanto, al igual que en los tratamientos térmicos, se puede estimar la resistencia de los microorganismos a partir del tiempo de reducción decimal (Valor *D*) que es el tiempo de tratamiento necesario para reducir la población microbiana a la décima parte.

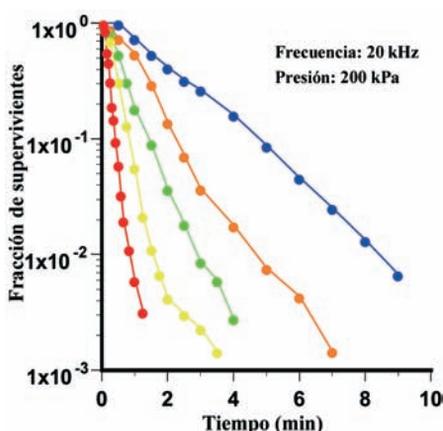


Figura 3 - Gráficas de supervivencia de *Yersinia enterocolitica* sometida a tratamientos de ultrasonidos bajo presión a 200 kPa y amplitud creciente: a 35, 62, 90, 105, 116, 143 y 150  $\mu\text{m}$ .

La amplitud ultrasónica es el valor máximo del desplazamiento de la superficie que vibra en el medio de tratamiento. Este valor está directamente relacionado con la intensidad del tratamiento. Se ha observado, tanto en células vegetativas como en esporos bacterianos, que al aumentar linealmente la amplitud, la velocidad de inactivación microbiana aumenta exponencialmente (Raso y col., 1998). La mayor eficacia de los tratamientos a mayor amplitud está relacionada con el aumento del volumen de líquido que experimenta cavitación y con el aumento del número de burbujas que implosionan por unidad de tiempo.

Cuando se aumenta la presión hidrostática en el medio de tratamiento se observa un incremento en el efecto inactivador de los tratamientos ultrasónicos, tanto en levaduras, como en células vegetativas y esporos bacterianos (Sala y col., 1995; Raso y col., 1998; Pagán y col., 1999a). Estos incrementos de presión, en función de las condiciones de tratamiento, son efectivos hasta valores de alrededor de 200-300 kPa. Por encima de estas presiones, nuevos incrementos no aumentan el efecto letal de los ultrasonidos. La influencia de la presión sobre el efecto inactivador de los ultrasonidos puede explicarse a partir de la influencia que ésta ejerce sobre el fenómeno de la cavitación. La presurización del medio de tratamiento provoca un aumento en la intensidad con la que implosionan las burbujas y un descenso del número de burbujas que implosionan por unidad de tiempo. Por lo tanto, aunque al aumentar la presión, la intensidad de la implosión de las burbujas individuales es mayor, el menor número de burbujas que implosionan, podría explicar que a partir de una determinada presión hidrostática, nuevos incrementos de presión no incrementen el efecto letal de los ultrasonidos.

Cuando los ultrasonidos se transmiten en un medio, su amplitud disminuye con el cuadrado de la distancia. Por lo tanto, si mantenemos constante la intensidad del tratamiento, su efecto inactivante estará influenciado por el volumen de la cámara de tratamiento. Distintos autores han observado un menor efecto letal de los tratamientos ultrasónicos al aumentar el volumen de la cámara de tratamiento.

Con objeto de reducir la intensidad de los tratamientos térmicos, se ha estudiado el efecto inactivador de tratamientos combinados de ultrasonidos bajo presión y calor (Manotermosonificación). En un determinado rango de *temperaturas*, el tratamiento combinado es más eficaz en la inactivación de células vegetativas y esporas bacterianas. Además, se ha observado un efecto sinérgico con células vegetativas de *Streptococcus faecium* y con esporos de *Bacillus subtilis* y un efecto aditivo en el resto de las células vegetativas investigadas (Sala y col., 1995; Raso y col., 1998; Pagán y col., 1999a).

No todos los microorganismos presentan la misma resistencia a los tratamientos ultrasónicos. Los cocos son más resistentes que los bacilos, las esporas bacterianas son mucho más resistentes que las células vegetativas y las bacterias Gram-positivas son más resistentes que las bacterias Gram -. A pesar de la diferente resistencia de las células vegetativas a los ultrasonidos, se ha observado

que la influencia de la presión hidrostática y la amplitud ultrasónica en el efecto inactivador de estos tratamientos es la misma. Es decir, que un mismo aumento de la presión hidrostática o de la amplitud provocan el mismo descenso en la resistencia al tratamiento de diferentes microorganismos. Se han desarrollado dos ecuaciones matemáticas, una para la influencia de la presión y otra para la influencia de la amplitud, que permiten predecir el efecto inactivador de un tratamiento ultrasónico de unas determinadas características a partir de un único valor experimental.

La temperatura a la que crecen los microorganismos determina su resistencia frente a distintos agentes inactivadores como el calor o las altas presiones. Sin embargo, se ha observado que ésta no influye sobre la resistencia a los tratamientos ultrasónicos (Pagán y col., 1999a).

Es bien conocido que cuando los microorganismos se someten a un tratamiento térmico subletal aumenta considerablemente su termorresistencia. Se cree que este incremento es debido a la síntesis por parte de éstos de unas proteínas denominadas "proteínas del shock térmico" que los protegen frente al calor. Pagán y col. (1999a) estudiando la resistencia a los tratamientos ultrasónicos de células de *L. monocytogenes* sometidas previamente a un tratamiento térmico subletal, observaron que un choque térmico a 45°C durante 180 min aumentaba su termorresistencia a 62°C seis veces, mientras que no modificaba su resistencia a un tratamiento de ultrasonidos bajo presión (117 mm, 200 kPa, 40°C). Además, el efecto inactivador de los tratamientos de MTS sobre las células que habían recibido el tratamiento térmico subletal era sinérgico en un determinado rango de temperaturas.

El pH del medio de tratamiento también es un factor que afecta a la resistencia microbiana a distintos agentes inactivadores. Es bien conocido que los microorganismos suelen ser menos termorresistentes al descender el pH del medio de tratamiento. Sin embargo, diferentes autores han observado que la acidificación del medio de tratamiento no afecta a la inactivación microbiana por ultrasonidos (Pagán y col., 1999a).

La elevada resistencia al calor que presentan los microorganismos en medios de baja actividad de agua obliga a aplicar tratamientos térmicos muy intensos para su esterilización. Aunque el descenso de la  $a_w$  también aumenta la resistencia de los microorganismos a los tratamientos ultrasónicos, este incremento es mucho menor. Así, por ejemplo, mientras que la adición de sacarosa a una concentración del 57% al medio de tratamiento multiplica la termorresistencia de *L. monocytogenes* por 25, la resistencia de este microorganismo a un tratamiento de manosonificación solamente se duplica. También, se ha observado un efecto sinérgico de la MTS en la inactivación de distintos microorganismos como *L. monocytogenes* o *S. senftenberg* en medios de baja actividad de agua (Álvarez y col., 2003).

En general, se ha observado que la resistencia microbiana a los tratamientos ultrasónicos aumenta ligeramente al suspender los microorganismos en los ali-

mentos. El efecto protector depende de su composición. Mientras que la resistencia de *L. monocytogenes* a un tratamiento de Manosonación es la misma en leche desnatada que en tampón McIlvaine de pH 7 la de *S. senftenberg* se duplica cuando el tratamiento se aplica en huevo líquido (Mañas y col., 2000a).

Respecto al *mecanismo de inactivación*, la inactivación microbiana por los ultrasonidos se atribuye al fenómeno de cavitación. Como consecuencia de la implosión de las burbujas se generan elevadas temperaturas y presiones que provocan la aparición en el seno del líquido de intensas fuerzas de cizalla y la formación de radicales libres (Raso y col., 1998).

A pesar de que los estudios teóricos indican que en el punto de la implosión se alcanzan temperaturas de varios miles de grados centígrados, debido al pequeño volumen del mismo y a las elevadas velocidades de calentamiento y enfriamiento, no se produce un aumento importante de la temperatura del medio durante su sonicación. Por otra parte, es bien conocido que tras aplicar un tratamiento térmico a una población microbiana, parte de los supervivientes al mismo no son capaces de crecer cuando se recuperan en un medio desfavorable. Se considera que estos microorganismos han sido dañados por el tratamiento térmico y sólo son capaces de multiplicarse cuando las condiciones de recuperación son óptimas. Sin embargo, no se han encontrado diferencias en el número de microorganismos que se recuperan tras un tratamiento de ultrasonidos al cultivarlos en un medio favorable o desfavorable. Por lo tanto, parece que el calor no interviene en el efecto inactivador de estos tratamientos.

Tampoco parece que los radicales libres sean responsables de la inactivación microbiana por los ultrasonidos. La presencia en el medio de tratamiento de una sustancia secuestrante de radicales libres (cisteamina) no influye en el efecto inactivador (Raso y col., 1998).

Por lo tanto, parece que la inactivación microbiana por los ultrasonidos es debida, a la ruptura mecánica de las células debido a las intensas fuerzas de cizalla que se generan como consecuencia de la implosión de las burbujas. De hecho, se ha observado al microscopio electrónico la presencia de células con su pared celular rota tras un tratamiento ultrasónico y, al microscopio de contraste de fases, una correspondencia entre el número de células rotas con el número de microorganismos inactivados determinado por un recuento en placa. Esta destrucción celular también es corroborada por el incremento progresivo de la concentración proteica en el medio donde se encuentran suspendidos los microorganismos durante el tratamiento.

#### 4.10.2. Inactivación de enzimas mediante ultrasonidos

Los enzimas, junto con los microorganismos, son los causantes principales de la alteración de los alimentos, principalmente los denominados enzimas endógenos. Sin embargo, la inactivación enzimática mediante ultrasonidos ha recibido mucha menos atención que la inactivación microbiana. A pesar de la

dificultad que ofrece la comparación de los resultados de inactivación obtenidos por diversos autores, fundamentalmente debido a las distintas metodologías empleadas, parece evidente que el comportamiento de los enzimas de interés en la conservación de los alimentos es muy dispar.

Haciendo uso del mismo equipo descrito anteriormente, el grupo de investigación del Dr. Burgos ha estudiado la inactivación de enzimas tales como lipoxigenasa, peroxidasa y polifenoloxidasas (López y col., 1994), proteasas y lipasas de *Pseudomonas* (Vercet y col., 1997) y pectin metilesterasa y endopoligalacturonasas (López y col., 1998; Vercet y col., 1999) mediante tratamientos de ultrasonidos bajo presión y calor (MTS). En estos trabajos se describen las condiciones MTS óptimas para lograr la reducción de la actividad de estos enzimas tanto en sistemas modelo como alimentos (leche, tomate, naranja), y se demuestra que la velocidad de inactivación enzimática mediante tratamientos MTS puede llegar a ser hasta 500 mayor en comparación con tratamientos térmicos realizados a la misma temperatura de tratamiento. En relación con el mecanismo de inactivación enzimática, se concluye que los enzimas pequeños son más resistentes que los grandes y que los mecanismos de protección frente a la inactivación por calor no protegen frente a los tratamientos MTS.

En resumen, el incremento del efecto letal de los tratamientos ultrasónicos al aplicarlos bajo presión y al combinar estos tratamientos con el calor abre nuevas posibilidades a su utilización como alternativa a la conservación de los alimentos por el calor. Dada su demostrada capacidad para inactivar microorganismos y enzimas, la Manosonicación y/o la Manotermosonicación podrían ser una alternativa para la conservación de alimentos líquidos, especialmente de aquellos sensibles al calor. Sin embargo, la imposibilidad de obtener, a escala industrial, las intensidades de campo ultrasónicas que se obtienen en el laboratorio, limita, por el momento su aplicación.

## REFERENCIAS

- Álvarez, I., Mañas, P., Sala, F.J. y Condón, S. (2003). Inactivation of *Salmonella enteritidis* by ultrasonic waves under pressure at different water activities. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 668-672.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Pothakamury, U. R., Palou, E. y Swanson, B. G. (1998). *Nonthermal preservation of foods*. Marcel Dekker, Inc, New York.
- Berlan, J. y T. J. Mason (1992) "Sonochemistry: from research laboratories to industrial plants". *Ultrasonics*, 30: 203-212.
- Berliner, S. (1984) "Application of ultrasonic processors". *Int. Biotechnol. Lab.*, 2: 42-49.
- Boucher, R.M.G., Pisano, M.A., Tortora, G. y Sawicki, E. (1967) "Sonochemical sterilization". *Ultrasonics*, Jul: 168-172.
- Burgos, J., J. Ordoñez, A. y Sala, F.J. (1972). Effect of ultrasonic waves on the heat resistance of *Bacillus cereus* and *Bacillus licheniformis* spores. *Applied Microbiology* 24: 497-498.

Gallego, J.A., Rodríguez, G., San Emeterio, J.L. y Montoya, F. (1994). Electroacoustic unit for generating high sonic and ultrasonic intensities in gases and interfaces. US Patent 5299175.

Gallego, J.A., Riera, E., y Rodríguez, G. (1999a). Application of acoustic agglomeration to reduce fine particle emissions from coal combustion plants. *Environmental Science and Technology* 33: 3843-3849.

Gallego, J.A., Rodríguez-Corral, G., Moraleda J.C.G. y Yang, T.S. (1999b). A new high-intensity ultrasonic technology for food dehydration. *Drying Technology* 17: 597-608.

Gallego, J.A., Rodríguez, G., Acosta, V.M., Andrés, E., Blanco, A. y Montoya, F. (2002). Procedimiento y sistema ultrasónico de desespumación mediante emisores con placa vibrante escalonda, Patente Española, 200202113.

García, M.L., Burgos, J., Sanz, B. y Ordóñez, J.A. (1989). Effect of heat and ultrasonic waves on the survival of two strains of *Bacillus subtilis*. *Journal of Applied Bacteriology* 67: 619-628.

López, P., Sala F.J., Fuente, J.L., Condón S., Raso, J. y Burgos, J. (1994). Inactivation of peroxidase, lipoxigenase, and polyphenol oxidase by manothermosonication. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 42: 252-256.

López, P., Vercet, A., Sanchez, C. y Burgos, J. (1998). Inactivation of tomato pectic enzymes by manothermosonication. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung A*, 207: 249-252.,

Mañas, P., Pagán R., Raso, J., F.J. Sala and Condón, S. (2000a). Inactivation of *Salmonella* Enteritidis, *Salmonella* Typhimurium and *Salmonella* Senftenberg by ultrasonic waves under pressure. *Journal of Food Protection* 63: 451-456.

Mañas, P., Pagán, R. and Raso, J. (2000b). Predicting lethal effect of ultrasonic waves under pressure treatments on *Listeria monocytogenes* ATCC 15313 by power measurements. *Journal of Food Science* 65: 663-667.

Mason, T.J., Paniwnyk, L. y Lorimer, J.P. (1996). The uses of ultrasound in food processing. *Ultrasonics sonochemistry* 3: S253-S260.

Neppiras, E.A. (1980). Acoustic cavitation thresholds and cyclic processes. *Ultrasonics*, Sept: 201-209.

Pagán, R., Mañas, P., Alvarez, I. y Condón, S. (1999a). Resistance of *Listeria monocytogenes* to ultrasonics waves under pressure at sublethal (manosonication) and lethal (manothermosonication) temperatures. *Food Microbiology* 16: 139-148.

Pagán, R., Mañas, P., Raso, J. y Condón, S. (1999b). Bacterial resistance to ultrasonic waves under pressure at nonlethal (Manosonication) and lethal (Manothermosonication) temperatures. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 297-300.

Pagán R., Palop A., Mañas, P. y Sala, F.J. (1999c). Resistance of heat-shocked cells of *Listeria monocytogenes* to Manosonication and Manothermosonication. *Letters in Applied Microbiology* 28: 71-75.

Povey J.W.M. y Mason, T.J. (1998). *Ultrasound in food processing*. Blackie Academic & Professional.

Raso, J., Pagán, R., Condón, S. & Sala, F. J. (1998). Influence of temperature and pressure on the lethality of ultrasound. *Applied and Environmental Microbiology* 64, 465-471.

Sala, F. J., Burgos, J., Condón, S., López, P. y Raso, J. (1995b) "Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes". En: *New Methods of Food Preservation* (G. W. Gould, ed.) Blackie Academic & Professional, Londres. Pags: 176-204.

Simal, S., Benedito, J. Sanchez, E.S. y Roselló, C. (1998). Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering* 36: 323-336.

Suslick, K. S. (1990) "Sonochemistry". *Science*, 247: 1439-1445.

Tarleton, E.S. y Wakeman, R.J. (1997). Ultrasonically assisted separation processes. In *Ultrasound in Food Processing* (Povey y Mason, eds.). Thompson Science, London. Pp. 193-218.

Vercet, A., López, P. y Burgos, J. (1997). Inactivation of heat-resistant lipase and protease from *Pseudomonas fluorescens* by manothermosonication. *Journal of Dairy Science* 80: 29-36.

Vercet, A., López, P. y Burgos, J. (1999). Inactivation of heat-resistant pectin-methylesterase from orange by manothermosonication. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 47: 432-437.

Virto, R. (2005). Inactivación microbiana por distintos agentes químicos: aplicación para el lavado de productos vegetales. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza.

## Capítulo XI:

### **PRODUCTOS DEL MAR EN ATMÓSFERA MODIFICADA**

---

#### **Juan Luis Mejía García**

Departamento Investigación y Desarrollo  
ABELLÓ LINDE S.A.  
Maufactura 2.  
41927 Mairena del Aljarafe. Sevilla. España.  
Tlfno.: +34-954187353. Fax: +34-954187355  
juan.luis.mejia.garcia@es.linde-gas.com

Los cambios en ciertos factores socioculturales en los hábitos alimenticios de los consumidores españoles, unidos a la falta de tiempo o la comodidad hacen que se produzca una creciente demanda de productos de alta calidad, en estado natural, frescos listos para comer que ofrezcan una amplia información en todas las etapas de la cadena alimentaria después de un mínimo procesado.

Estas exigencias de los mercados y el hecho de que el pescado es un producto altamente perecedero, ha derivado en el desarrollo de nuevas técnicas de envasado donde los gases juegan un papel fundamental.

La tecnología MAPAX® de Linde es un programa de envasado en atmósfera modificada hecho a medida y basado en los datos necesarios relacionados con los alimentos, los gases y el proceso de envasado. El objetivo principal del envasado de estos productos, es el mantenimiento de la calidad microbiológica, fisiológica y organoléptica de distintas especies de pescados y mariscos en atmósfera modificada, permitiendo incrementar la vida útil con respecto a otros métodos usados tradicionalmente.

Para el envasado de pescados, mariscos y sus derivados, MAPAX® toma en consideración:

1. Calidad y tipología de la materia prima
2. El nivel de higiene en el procesado y eviscerado del pescado
3. El tipo de corte
4. El enfriamiento.
5. Envasado en atmósfera modificada.
  - 5.1. La mezcla de gases.
  - 5.2. El volumen de gas libre en el envase
  - 5.3. Las propiedades de los envases y el método de envasado.
  - 5.4. Equipos.
  - 5.5. Suministro.
6. Las temperaturas de almacenamiento y distribución. (Velocidad de crecimiento bacteriano es muy dependiente de la temperatura de almacenamiento).

En este artículo se pretende reseñar someramente los factores y tratamientos que más influyen en la conservación de productos del mar, tanto frescos como elaborados en sus diversas formas y envasados en MAP. Se hace hincapié en la parte de atmósferas modificadas como complemento de la refrigeración para incrementar la vida útil del pescado y sus derivados

## 1. CALIDAD Y TIPOLOGÍA DE LA MATERIA PRIMA

Una de las claves del éxito del envasado de pescados en MAP radica en la calidad de la materia prima, por lo que este factor debe tenerse en cuenta para la obtención de un producto final que conserve todas sus características organolépticas.

La calidad depende de cómo se ha pescado, de dónde y del tiempo que ha transcurrido desde la pesca hasta que se envasa, pescados con una pobre calidad proporcionan un incremento de la susceptibilidad a deterioros microbianos, enzimáticos y reacciones oxidativas principalmente que conllevan a una reducción de la vida útil de los productos envasados en atmósfera modificada.

Por otro lado cada especie y producto procesado tiene un comportamiento distinto en el envasado, por lo que se ha de diseñar sistemas de envasado y atmósferas adaptadas a las condiciones de conservación requeridas.

## 2. EL NIVEL DE HIGIENE PREVIO AL ENVASADO

Hay que conseguir provocar que las condiciones higiénicas de entrada del producto a la etapa de envasado sean las óptimas desde el punto de vista microbiológico, sin alterar características organolépticas del mismo. Una de las formas de reducir la contaminación estriba en un buen manejo durante toda la cadena del procesado con sucesivos lavados que tienen como finalidad eliminar sustancias, restos de sangre y bacterias de la superficie y de las cavidades viscerales, evitando en todo momento la recontaminación del género.

Mediante el descabezado y eviscerado se eliminan gran parte del contenido bacteriano del interior, pero aumentamos el riesgo de contaminación del resto de masa muscular que es expuesta a las condiciones de manipulación. Se recomienda eviscerar lo antes posible para evitar proliferaciones microbianas.

### **3. TIPO DE CORTE**

Supone la eliminación de partes y el cambio de morfología que implica el aumento de relación superficie-volumen corporal, esta es la razón por la que los peces pequeños se deterioran antes.

Cuchillas poco afiladas causan importantes daños en los tejidos y aceleran los procesos de alteración del pescado. El corte debe de ser totalmente limpio evitando roturas y aplastamiento que aceleran los procesos de deterioro del pescado, rasgaduras en los tejidos favorecen la pérdida de fluidos celulares y la posible recontaminación.

### **4. ENFRIAMIENTO**

La manipulación y elaboración normalmente provocan un aumento de la temperatura acelerando las reacciones químicas y enzimáticas y favoreciendo la proliferación de bacterias predominantes.

Con toda certeza podemos afirmar que la temperatura es el factor más importante a tener en cuenta para la conservación de cualquier producto envasado en MAP ya que mediante el descenso de la temperatura se reduce la velocidad de las reacciones químicas y disminuye la actividad de los microorganismos, a la vez que evitamos la pérdida de humedad.

Con el enfriamiento rápido superficial a temperatura comprendidas entre  $-1^{\circ}\text{C}$  y  $-3^{\circ}\text{C}$  previo al envasado, se estabiliza el producto a la temperatura de conservación, se prolonga el tiempo de aparición de pardeamientos de la carne del pescado fresco, y se disminuye el crecimiento bacteriano, por debajo de  $-2^{\circ}\text{C}$  cesa gran parte de la actividad bacteriana.

Cuando se utilizan atmósferas modificadas, es muy conveniente enfriar el pescado antes del envasado ya que si la materia prima, adecuadamente manipulada, no se enfría antes, se puede presentar el fenómeno de colapso de las bandejas, este colapso o retracción se produce debido a que al enfriarse el gas que rodea el aliento disminuye su volumen, originando una depresión que ocasiona la deformación de la bandeja. A todo esto se une que el  $\text{CO}_2$  (que en ocasiones se encuentra en altas concentraciones), se disuelve en los líquidos tisulares disminuyendo su volumen en el interior del envase.

## 5. ENVASADO EN ATMÓSFERA MODIFICADA

El envasado en Atmósfera Protectora, (MAP), consiste únicamente en sustituir el aire que se encuentra rodeando al producto en el momento del envasado, por un gas o mezcla de gases especialmente preparada para cada tipo de alimento, con el fin de prolongar la vida útil del producto a envasar.

Este sistema nos permite un control sobre las reacciones químicas, enzimáticas y microbianas, evitando o minimizando las degradaciones que se producen durante los periodos de almacenamiento, sin incorporación de sustancias extrañas.

Con esto conseguimos presentar al consumidor un producto de primera calidad, que mantiene todas sus condiciones organolépticas e higiénico-sanitarias como el primer día.

### 5.1. Gases utilizados

La atmósfera de gases debe de ser seleccionada teniendo debida consideración de las características y propiedades del producto a envasar.

Cada uno de estos gases posee unas características específicas que condicionan su interacción con los alimentos. Los gases se utilizan puros o en mezclas con la proporción adecuada. Son tres los normalmente utilizados.

#### 5.1.1. El nitrógeno

Se considera inerte, incoloro, inodoro e insípido, de baja solubilidad en agua y grasas, utilizado fundamentalmente para desplazar el oxígeno, así como para retrasar la oxidación y prevenir el enranciamiento de las grasas y aceites.

Indirectamente, también puede influir sobre los microorganismos en los alimentos, al retrasar el desarrollo de los organismos aerobios productores de descomposición.

Además, actúa como relleno para evitar el “colapso” y proporcionar mejor apariencia a los envases.

#### 5.1.2. El dióxido de carbono. (CO<sub>2</sub>)

Gas altamente soluble en agua, produce un fuerte efecto inhibitor en el crecimiento de ciertos microorganismos, en especial sobre mohos levaduras y bacterias Gram-negativas (efecto bacterioestático y fungiestático).

El CO<sub>2</sub> se disuelve en los tejidos, produciendo una disminución en el pH por la formación de ácido carbónico, actuando con efecto inhibitor sobre los

microorganismos. La capacidad de disolución y su efecto de prolongar la fase vegetativa de los microorganismos, aumenta al disminuir la temperatura.

### **5.1.3. El oxígeno (O<sub>2</sub>)**

El oxígeno provoca oxidación de las grasas y permite el desarrollo de bacterias aerobias y reacciones enzimáticas.

El deterioro químico de los lípidos es el proceso principal de deterioro en los alimentos secos o deshidratados y en el pescado de alto contenido graso.

Esto se debe a la oxidación de las grasas insaturadas en presencia de oxígeno atmosférico, causando la rancidez del producto.

## **5.2. El volumen de gas libre en el envase**

Otras consideraciones importantes a tener en cuenta en el envasado con atmósfera modificada, es la relación volumen libre (gas)/volumen ocupado (producto) ya que se ha comprobado que la duración del pescado envasado esta directamente relacionada con el volumen de gas en el interior de envase.

Recomendamos que la relación volumen de gas, debe de ser como mínimo el doble del volumen del pescado empaquetado.

## **5.3. Las propiedades de los envases y el método de envasado.**

Para garantizar el mantenimiento de la Atmósfera Protectora, el material de envasado debe tener una excelente barrera a los gases y al vapor de agua. Deberá de contar con una perfecta resistencia química a ácidos, bases, aceites y grasas con buenas propiedades mecánica, transparencia y brillo.

La baja permeabilidad a los gases y a la humedad, así como unas adecuadas propiedades de estanqueidad y resistencia, son conseguidas mediante el empleo de films fabricados con combinaciones de varios polímeros en estructuras multicapas, teniendo cada capa unas características determinadas.

Es habitual el uso de film retráctil con tratamientos anti-vaho en los productos de la pesca, ya que debido a su alta actividad de agua es necesario reducir la condensación para mejorar la imagen del producto.

Se está imponiendo el uso de barquetas con fondo provisto de material absorbente que permiten reducir la acumulación de exudados.

## **5.4. Equipos de envasado**

Son diversos los tipos de maquinarias empleadas en el envasado de

productos del mar y su elección dependerá de la producción, tipo de pescado y presentación que se le quiera dar al producto final.

Describimos los dos grupos más usados.

#### *5.4.1 Envasadoras horizontales y verticales con flujo continuo de gas ("flow-pak")*

Mediante una pinza formadora, el film es transformado en un tubo, al que se alimenta con el producto a envasar. El sellado y el cortado se realizan por medio de mordazas.

Los gases son inyectados continuamente a través de una lanza de inyección, a fin de purgar el aire mediante barrido.

Un sistema que está aportando grandes resultados en el envasado de pescados, es el sistema "flow pack" horizontal en continuo y túneles de retracción por calor.

El envase está formado por una lámina de film retráctil con propiedades anti-vaho que la máquina conforma, purga con gas y sella alrededor de una bandeja con propiedades absorbentes. Mediante aplicación de calor, en túnel situado a la salida de la envasadora, el film se ajusta perfectamente a la bandeja.

Otra aplicación cada vez más usada es el envasado de moluscos bivalvos

#### *5.4.2. Envasadoras termoformadoras y termoselladoras*

En las máquinas termoformadoras, a través de una hoja de laminado plástico más bien grueso se forma una bandeja en la cual se introduce producto a envasar, posteriormente se extrae el aire (vacío), y se inyectan los gases. El envase lleno es sellado con una película plástica alimentada por una bobina, situada en la parte superior.

Existen otras máquinas cuyo funcionamiento es similar al descrito, pero no conforman la bandeja, es decir sólo realizan la función de vacío inyección de gas y sellado, éstas son las que se conocen en el mercado como termoselladoras.

### **5.5. Suministro de MAP**

La mejor opción de suministro de gases depende del tipo del alimento a envasar, del volumen de producción, de la línea de envasado y también de si el gas se va a ser utilizado en algún otro lugar en la línea de producción, como por ejemplo el enfriamiento con nitrógeno líquido previo al envasado.

Cuando la producción es relativamente pequeña o se está poniendo en marcha una nueva planta, puede resultar más conveniente suministrar los

gases ya mezclados. Cuando el volumen de producción aumenta y se tengan que envasar varios productos, será mejor y más económico mezclar los gases en las propias instalaciones del cliente. En este caso se utiliza un mezclador y los gases se suministran mediante cilindros, tanques o un sistema de membrana o PSA.

## 6. ÍNDICES MICROBIOLÓGICOS OBTENIDOS DURANTE LA CONSERVACION EN MAP DE DIFERENTES ESPECIES DE PESCADO

Las analíticas expuestas hacen referencia al tratamiento de pescado que se describe a continuación:

1. Lavado previo de la materia prima.
2. Manipulación de la materia prima (Descabezado, eviscerado, fileteado, etc).
3. Desinfección.
4. Tratamiento químico superficial de la materia prima en baño acidificante.
5. Glaseado de la materia prima con hielo seco.
6. Envasado en atmósfera modificada.

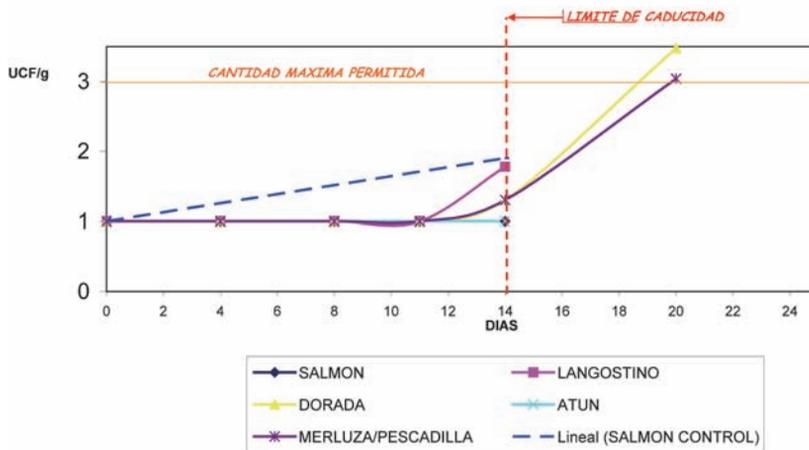


Figura 1 - Niveles de enterobacteriaceae en distintas especies de pescado.

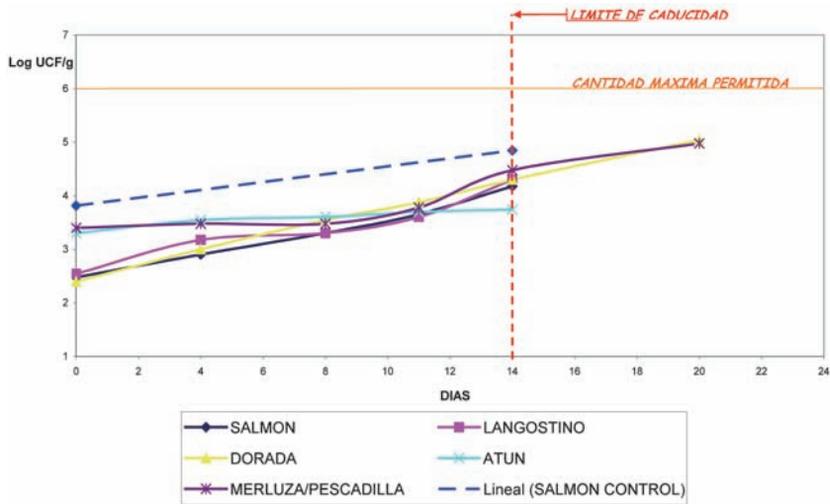


Figura 2 - Niveles de aerobios mesófilos en distintas especies de pescado.

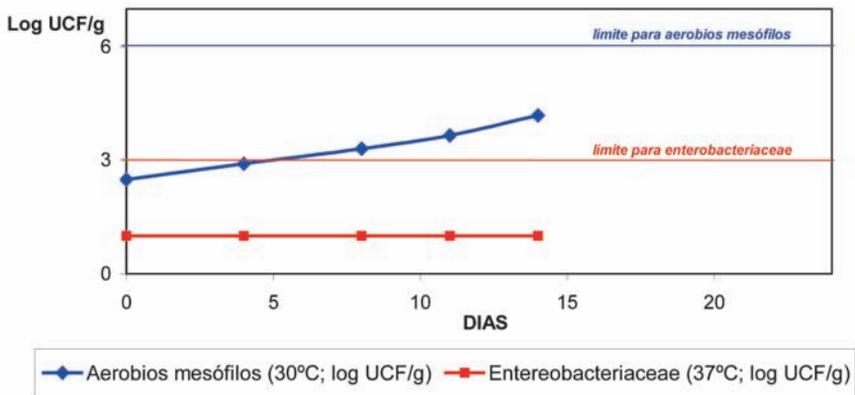


Figura 3 - Contaminación bacteriológica del salmón.

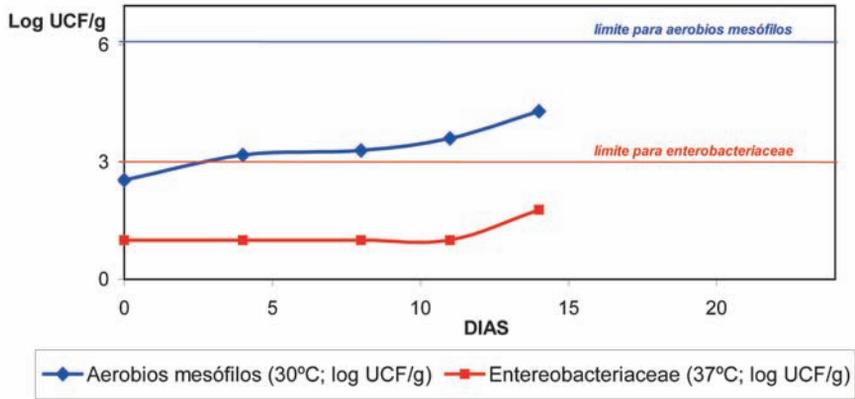


Figura 4 - Contaminación bacteriológica de la lubina.

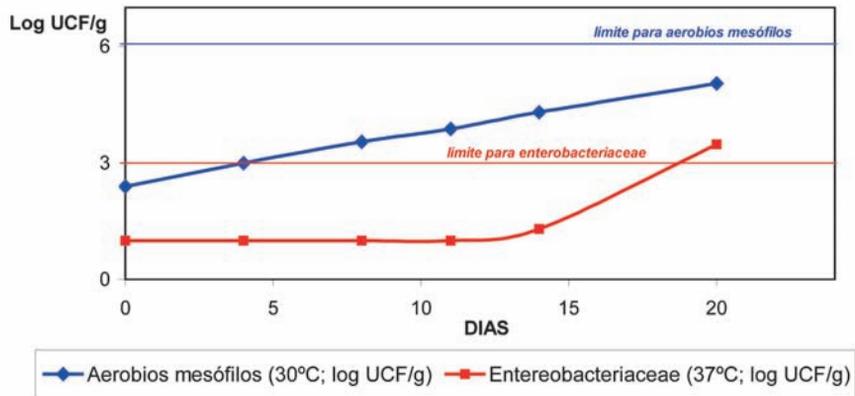


Figura 5 - Contaminación bacteriológica de la dorada.

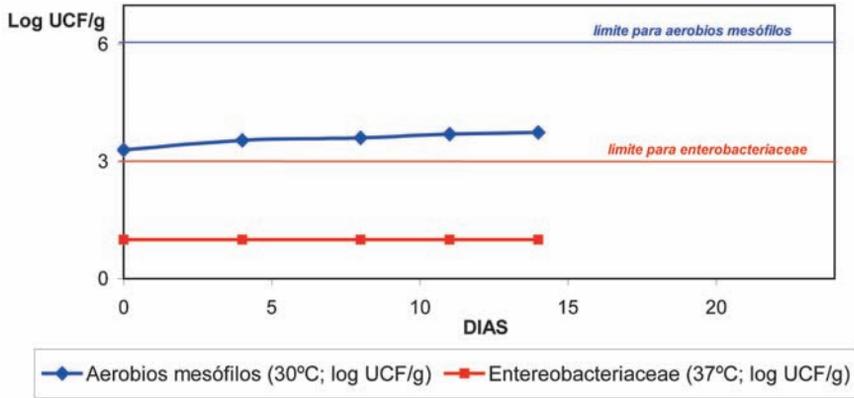


Figura 6 - Contaminación bacteriológica del atún.

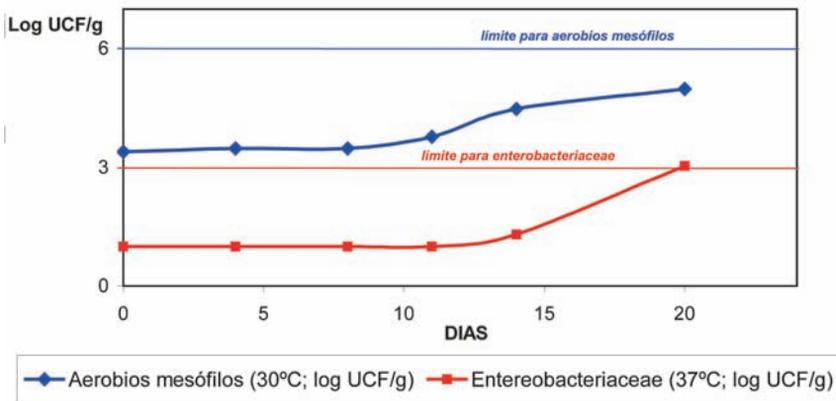


Figura 7 - Contaminación bacteriológica de la merluza / pescadilla.

		INDICE DE CALIDAD					
		PUNTUACIÓN SEGÚN MIC					
Fecha		24/04/03	28/04/03	02/05/03	05/05/03	08/05/03	14/05/03
Día		0	4	8	11	14	20
SALMON		0	0	0	0	0	>4
LUBINA		0	0	0	0	0	>4
DORADA		0	0	0	0	0	>4
ATUN		0	0	0	4	4	>4
MERLUZA/PESCADILLA		0	0	0	0	0	>4

Tabla 1 - Índices de calidad sensorial en pescado fresco.

TECNICA DE EVALUACIÓN DEL PESCADO COCIDO (día 14)	
ESPECIES	PUNTUACIÓN
SALMON	>8
LUBINA	4
DORADA	>8
ATUN	-----
MERLUZA/PESCADILLA	>8

Tabla 2 - Índices de calidad sensorial en pescado cocido después de 14 días en MAP.

## 7. TENDENCIAS EN EL ENVASADO EN MAP

La demanda del mercado puede ser satisfecha con las posibilidades tecnológicas existentes hoy día. Por otro lado, la persecución de máximos rendimientos y aprovechamientos hacen que los sistemas productivos tiendan a utilizar las piezas enteras (lomos, filetes, etc.) para el envasado en fresco en atmósfera modificada y los trozos y partes adheridas a las espinas, generalmente de poco interés comercial, para la elaboración de otros productos no de menor valor añadido.

Las empresas más punteras de sector están empezando a apostar por las nuevas tecnologías de conservación aplicadas de forma combinada para desarrollar nuevos productos y mejorar los procesos existentes, entre los que cabe distinguir los siguientes tipos:

1. Pescados descabezados y eviscerados, en filetes y rodajas así como anillas de cefalópodos.
2. Mariscos cocidos y platos a base de pescado pasteurizados y refrigerados.
3. Precocinados, con gran auge de los alimentos texturizados y envasados en atmósfera modificada.
4. Moluscos vivos

### 7.1. Pescados descabezados y eviscerados, en filetes y rodajas así como anillas de cefalópodos.

El pescado fresco pierde rápidamente su calidad original debido al crecimiento microbiano y a procesos enzimáticos.

La sensibilidad de los pescados y mariscos, es ocasionada por su alta actividad acuosa, el pH neutro (en el cual los microorganismos prosperan mucho), y a la presencia de enzimas, que minan rápidamente el sabor y el olor del pescado. La descomposición de las proteínas por causa de los microorganismos, produce olores muy desagradables.



*Figura 8 - Pescado envasado en MAP.*

La oxidación de las grasas insaturadas en pescados de alto contenido graso,

como el atún, la sardina y la caballa, da también como resultado un gusto muy poco apetitoso y muy mal olor.

Con el fin de mantener la alta calidad de los productos frescos, es absolutamente necesario envasar con temperaturas lo más cercanamente posible a los 0° y de mantener una inquebrantable cadena de refrigeración durante todo el periodo de transporte y comercialización de los productos del mar envasados.

#### *7.1.1. Dióxido de carbono: un pre-requisito para mantener la calidad*

La presencia del dióxido de carbono es muy necesaria para inhibir el crecimiento de las bacterias aeróbicas comunes, tales como las *Pseudomonas*, *Acinetobacter* y *Moraxella*. En envases de gran tamaño y a niveles superiores al 20%, su crecimiento es inhibido en el pescado, ya que el dióxido de carbono reduce el pH en la superficie de la piel de éste. En situaciones prácticas, la concentración de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> ha de estar comprendida entre el 30 y 60%, siendo más efectiva su acción a bajas temperaturas.

#### *Efectos positivos del anhídrido carbónico*

1. Fuerte efecto inhibitor sobre el crecimiento de microorganismos (Bacterias gram negativas, mohos y levaduras.). Debido a:
  - Alteraciones en las membranas celulares.
  - Cambios físico-químicos en las propiedades de las proteínas.
  - Penetración en las membranas de las bacterias con cambios en el pH intracelular.
2. El CO<sub>2</sub> actúa sobre las pseudomonas, acinetobacter y moraxela, que son las principales causantes de la descomposición del pescado.
3. Se disuelve en los tejidos del producto originando una disminución del pH como consecuencia de la formación de carbónico.
4. Inhibición de enzimas y reacciones enzimáticas.

#### *Efectos negativos*

1. Altas concentraciones de CO<sub>2</sub>.
  - Aumentan exudados.
  - Ablandan texturas.
  - Decoloración de agallas y color rojo.
2. En productos listos para comer, que no lleven calentamiento previo, pueden producir acidificación.
3. Puede producir colapso de los envases al disolverse en el producto y disminuir la presión interna.

### 7.1.2. El oxígeno mantiene el color

El oxígeno puede ser usado como un componente de la atmósfera modificada a fin de evitar el cambio de coloración o la decoloración del pigmento de los pescados y mariscos.

Debido a la oxidación de grasas, el oxígeno no debe ser usado en envases con pescados y elaborados de alto contenido graso, ya que se pueden producir sabores rancios.

La inclusión o no de oxígeno en un envase juega un papel muy importante en la determinación de la flora dominante durante toda la cadena de conservación.

#### *Efectos positivos del Oxígeno*

1. Es necesario para preservar el color rojo de la carne de ciertos pescados. (Mezclas con porcentajes mayores al 60% O<sub>2</sub>).
2. Mantenimiento del brillo y aroma en ciertos pescados.
3. Evita el crecimiento de anaerobios.
4. Concentraciones de 10% a 30% reduce exudados.
5. Inhibe la reducción de TMAO (óxido de trimetilamina) a TMA en pescados blancos, causante del mal olor.

#### *Efectos negativos*

1. Favorece el crecimiento de aerobios.
2. Cataliza reacciones enzimáticas.
3. Oxidación de grasas y tejidos grasos de los pescados.
4. En bajas concentraciones oxida la mioglobina.

## 7.2. Mariscos cocidos y platos refrigerados a base de pescado pasteurizados y refrigerados

Este tipo de alimentos han sido sometidos a procesos de elaboración en los que interviene el calor, lo que consigue rebajar significativamente la carga bacteriana. Sin embargo, tras el enfriamiento es posible que tenga lugar una nueva proliferación de microorganismos, que debe prevenirse mediante un adecuado manejo de las temperaturas y con el apoyo del envasado en atmósfera modificada.

La aplicación de atmósferas modificadas representa un importante avance en la conservación de estos alimentos, en una doble vertiente. Por un lado, el empleo de gases inertes, con el consiguiente desplazamiento del oxígeno, previene de las alteraciones por oxidación y enranciamiento de las grasas. Por otro lado, el empleo del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), con marcadas propiedades bacteriostáticas y fungiestáticas, ralentiza el desarrollo de microorganismos, lo que

permite la conservación de estos alimentos a temperaturas superiores a 0°C durante el tiempo suficiente para permitir su distribución sin problemas.

El uso del MAP en combinación con el tratamiento térmico aporta mucha estabilidad en la vida útil los productos terminados.



*Figura 9 - Mariscos envasados en MAP.*

### **7.3. Precocinados, con gran auge de los alimentos texturizados y envasados en atmósfera modificada**

El empleo de las atmósferas modificadas puede prolongar de manera muy significativa la vida útil de todo tipo de comidas precocinadas. Las mezclas de gases más adecuadas contienen entre un 20 y un 40% de CO<sub>2</sub>, siendo el resto nitrógeno. En el caso de platos con alto contenido en salsas y de alimentos texturizados que son consumidos de forma directa (sin calentamiento), una concentración de CO<sub>2</sub> muy elevada podría inducir un ligero gusto ácido, por formación de ácido carbónico.



*Figura 10 - Platos precocinados (embutido de pulpo y lomo con verduras) envasados en MAP.*

La vida útil de los alimentos precocinados está limitada en gran parte por la sensibilidad del producto al oxígeno. La oxidación de los ácidos grasos insaturados da lugar a la formación de peróxidos de dicho ácido graso. Estas reacciones

producen enranciamiento y malos olores, disminuyendo las características organolépticas y de conservación de estos productos. Un contenido del 0,1% en ácidos grasos insaturados puede ser suficiente para desarrollar aromas rancios en los elaborados y texturizados de pescados. En esta tipología de productos se debe de huir del oxígeno para el envasado en MAP.

#### 7.4. Moluscos vivos.

Los nuevos métodos de envasado, están siendo utilizados para la comercialización de moluscos vivos especialmente mejillones y ostras. La falta de higiene por pérdidas de líquido ínter valvar unidos a la incomodidad de los envases tradicionales implican la necesidad de la utilización de envases herméticos.

Para el diseño del sistema de envasado se ha tenido en cuenta una serie de adaptaciones concernientes al envase entre las que se destaca el mantener una atmósfera modificada dentro del mismo que asegure que el producto no consuma todo el oxígeno del interior y se convierta en una atmósfera anaerobia.

Otras características tenidas en cuenta a la hora de ampliar la vida comercial de los moluscos frente al sistema de comercialización tradicional, es la elasticidad y resistencia mecánica de los envases, la influencia del stress antes del envasado, el tipo de molusco, el lavado, el desvisado, el depurado y la temperatura de conservación y transporte.



Figura 11 - Mejillones envasados en MAP.

## 8. PROYECTOS FUTUROS

A corto y medio plazo las perspectivas del sector de alimentos preparados apuntan hacia un crecimiento de la demanda alimentos refrigerados de alta calidad, donde la innovación, diversificación de oferta y la orientación al canal HoReCa se presentan con inmensas perspectivas, lo que hace necesario que se desarrollen nuevos productos a base de pescado fáciles de consumir, con muy buenas características organolépticas y nutricionales.

Todo esto unido a que España es uno de los países del mundo con mayor consumo de pescado y a que los productos del mar envasados ocupan un papel

cada vez más destacado en la cesta de la compra, Abelló Linde se siente obligado en seguir investigando en nuevas y seguras aplicaciones en el envasado en atmósfera modificada, para aumentar la vida comercial de los productos derivados de la pesca.

Con proyectos como “UME” se abren líneas de I + D basadas en las tecnologías de métodos combinados, en donde se utilizan el efecto sinérgico de los distintos gases y otras técnicas de conservación como pueden ser procesos térmicos, utilización de extractos naturales, envases activos e inteligentes, ultrasonidos etc, ahora bien, sin alejarse nunca del concepto de procesado mínimo.

Con este proyecto se pretende estudiar la combinación de barreras aplicadas a muy baja intensidad y los efectos de éstas en la inactivación de microorganismos y la inhibición de las reacciones de deterioro.



## Capítulo XII:

### **ENVASES ACTIVOS E INTELIGENTES PARA ALIMENTOS**

---

**P. Paseiro Losada, A. Sanches Silva,  
D. Pereira de Abreu y J. M. Cruz.**

Dpto. Química Analítica, Nutrición y Bromatología.  
Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago de Compostela.  
15782 Santiago de Compostela. A Coruña. España.  
Tlfno.: +34-981598450  
e-mail: qnpaseir@usc.es

#### **1. INTRODUCCIÓN**

En los últimos años se han producido una serie de cambios en las preferencias de los consumidores y en la manera en que los alimentos son producidos y comercializados.

- Entre los consumidores la tendencia es hacia el consumo de productos alimenticios “más naturales”, “frescos”, saludables, semiprocesados o conservados sin tratamientos térmicos y convenientes, tanto desde el punto de vista nutricional, como de su facilidad para prepararlos. Al mismo tiempo los consumidores exigen una mayor seguridad alimentaria e información acerca de los productos que consumen.
- En la industria se han producido cambios tendentes a satisfacer las demandas de los consumidores y a reducir los costes, p.e. mediante la centralización de las actividades de producción e investigación. Por otro lado, la globalización de mercados implica unas mayores distancias y tiempos en la distribución de los productos alimenticios.

Todos estos cambios se reflejan en un incremento continuo en la demanda

de la industria para aumentar la vida comercial (vida útil) de los productos alimenticios envasados y en la demanda de los consumidores para mejorar la seguridad, la calidad y la integridad de los alimentos.

Los sistemas tradicionales de envasado están alcanzando su techo en estos aspectos y cada vez se demandan más y mejores prestaciones a los envases de uso alimentario. Para responder a estos cambios, a estas nuevas necesidades y desafíos se están desarrollando nuevos sistemas de envasado activo e inteligente, los llamados “envases activos e inteligentes”.

### *Envases activos*

Desde un punto de vista legal se denominan “materiales y objetos activos en contacto con alimentos” (Reglamento CE N° 1935/2004).

El envase activo a diferencia del tradicional, al que se le pide que sea totalmente inerte, está diseñado para interactuar de una forma activa con su contenido y esta interacción implica siempre una transferencia de masa, ya sea para incorporar sustancias al contenido del envase (el alimento y su entorno) o absorber componentes desde dicho contenido.

La finalidad de esta interacción es ampliar el tiempo de conservación o mantener o mejorar el estado de los alimentos.

Los materiales activos, modifican determinadas condiciones o procesos del alimento que juegan un papel determinante en la vida comercial del producto; p.e. procesos químicos (fenómenos de oxidación, decoloración), procesos físicos (endurecimiento y deshidratación del pan) o procesos microbiológicos (deterioro por microorganismos). Estas condiciones pueden ser reguladas de diversas maneras mediante la aplicación de los sistemas activos apropiados. Dependiendo de los requerimientos del producto envasado, el deterioro en la calidad puede ser reducido significativamente, y de esta manera se puede conseguir un incremento de la vida comercial.

Los envases activos incluyen sistemas que absorben/eliminan o regulan compuestos como el oxígeno, etileno, humedad o compuestos que pueden causar malos olores o sabores en los alimentos. Otros sistemas liberan agentes antimicrobianos, antioxidantes, saborizantes, aromatizantes o colorantes.

### *Envases inteligentes*

Desde un punto de vista legal se denominan “materiales y objetos inteligentes en contacto con alimentos” (Reglamento CE N°. 1935/2004).

Controlan el estado de los alimentos envasados o de su entorno. Son sistemas que monitorizan las condiciones del alimento envasado, para dar información acerca de la calidad del mismo durante el transporte y el almacenamiento.

El envase inteligente es capaz de suministrar información acerca de alguna condición del alimento envasado; p.e. muestra si hay entrada de aire en un producto envasado al vacío, fugas de gas en envases con atmósfera modificada, indica la presencia de alteraciones en la calidad del alimento (presencia de aminos volátiles en productos del mar) o rotura de la cadena de frío, proporciona indicación sobre la historia de la temperatura a la que estuvo expuesto el producto y del tiempo de exposición.

El concepto de material activo o inteligente comprende un amplio rango de tecnologías que se ponen a disposición de la industria alimentaria para ayudar a la resolución de problemas específicos.

En Estados Unidos, Japón y Australia, muchos de estos conceptos ya están siendo aplicados de forma exitosa con la finalidad de incrementar la vida comercial y monitorizar la calidad y seguridad de los alimentos.

En Europa, el desarrollo y la aplicación de estos sistemas todavía es limitado. Hasta finales del 2004, una de las razones que se alegaban para este retraso Europeo era la restricción legislativa, la legislación Europea era muy estricta y no permitía la entrada de estos sistemas innovadores, en la actualidad estos sistemas se encuentran autorizados de una manera general en el marco del Reglamento (CE) N° 1935/2004 sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos, en donde se definen y establecen requisitos especiales para estos materiales y objetos activos e inteligentes, aunque se está a la espera de la adopción de normas adicionales mediante medidas específicas. Sin embargo y a pesar de esta autorización genérica, la realidad es que las industrias alimentarias europeas están utilizando muy tímidamente estos materiales y objetos innovadores. Otras razones pueden ser la falta de información o conocimiento acerca de la aceptación de estos sistemas por los consumidores, del impacto económico-ambiental que puedan tener, de la eficacia de los mismos y de que su implementación, principalmente en el caso de los inteligentes, no depende solo de la industria alimentaria sino que requiere una mayor implicación de todos los operadores involucrados en las tareas de distribución, almacenamiento y venta de productos alimenticios al consumidor.

## **2. ENVASES ACTIVOS**

Dentro de los envases activos podemos distinguir dos grandes grupos:

a) Absorbedores/eliminadores, que implican una transferencia de masa desde el contenido del envase al sistema activo:

- Oxígeno
- Etileno
- Humedad
- Malos olores/sabores

b) Liberadores/emisores, que implican una transferencia de masa desde el sistema activo al contenido del envase:

- Antimicrobianos
  - Etanol, dióxido de carbono.
  - Conservadores (ac. sórbico, ac. benzoico, ac. propiónico, bacteriocinas).
- Otros
  - Aromatizantes, saborizantes, colorantes, ingredientes alimentarios.
  - Antioxidantes.

## 2.1. Absorbedores de oxígeno

El oxígeno presente en el interior de los envases acelera el deterioro de muchos productos alimenticios. La presencia de oxígeno, cuando no es deseada, puede derivar de una inadecuada o insuficiente evacuación durante el proceso de envasado, presencia en el propio alimento o en el material del envase y de su liberación lenta al espacio de cabeza, permeación a través del envase (los plásticos no son impermeables), entradas de aire debidas a un pobre sellado o micro perforaciones del material de envasado.

Los absorbedores reducen y controlan de manera activa los niveles residuales de oxígeno en el interior del envase, llegando en algunos casos a conseguir valores inferiores al 0,01% de oxígeno, inalcanzables para otros sistemas de envasado.

La utilización de los absorbedores de oxígeno presenta las siguientes ventajas:

- Evita los fenómenos de oxidación: enranciamiento de grasas y aceites y consecuente aparición de malos olores y sabores, pérdida o cambio de los colores característicos de los alimentos, pérdida de nutrientes sensibles al oxígeno (vitaminas A, C, E, ácidos grasos insaturados, etc.).
- Evita el desarrollo de microorganismos, mohos y bacterias aeróbicas.
- Impide el crecimiento de insectos y vermes.
- Reduce o elimina la necesidad de utilizar aditivos conservantes y antioxidantes incorporando al alimento el valor añadido de "fresco" o "natural".
- Son una alternativa económica y eficaz al empleo de atmósferas modificadas y al vacío.

Consecuentemente, la aplicación de estos sistemas, solos o en combinación con otros sistemas tradicionales de envasado, pueden extender la vida comercial de un producto alimenticio.

### Mecanismos de acción

En general existen distintas tecnologías que utilizan diversos mecanismos solos o combinados:

- Oxidación de hierro y sales ferrosas. Es el mecanismo más ampliamente utilizado en la actualidad y uno de los más efectivos.
- Oxidación de colorantes fotosensibles.
- Oxidación de ácido ascórbico y ácidos grasos insaturados (oleico, linoleico).
- Oxidación enzimática (glucosa oxidasa/catalasa, alcohol oxidasa).

### Presentación

En la presentación comercial podemos encontrar con:

- Sistemas independientes como saquitos, tiras o etiquetas, constituyendo un elemento que se incorpora o se adhiere al interior del envase, pero que es una parte diferenciada del mismo. Son los sistemas más ampliamente utilizados y deben llevar un etiquetado apropiado que permita al consumidor identificarlo como una parte no comestible (Figura 1)
- Sistemas integrados en propio material del envase, sin que se aprecie visualmente como un elemento diferenciado. Sin duda constituyen el futuro en este campo.

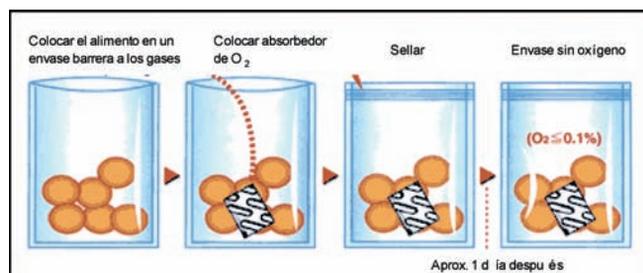


Figura 1 - Funcionamiento de un sistema independiente absorbedor de oxígeno.

Todos estos sistemas requieren que el material activo no este afectado por el O<sub>2</sub> antes de su uso. Unos están protegidos en envases herméticos, otros requieren una activación previa a su utilización (activación por el agua, hinchamiento del polímero, acción de la luz, etc.).

Se pueden utilizar solos o combinados con otros sistemas activos que potencien su acción, p.e. reguladores de humedad.

### *Algunos sistemas comerciales:*

#### *- Sistemas independientes*

Ageless® (Mitsubishi Gas Chemical), ATCO (Standa Industries), FreshPax™, FreshMax® y FreshCard™ (Multisorb Technologies), O-BUSTER (Hsaio Sung Non-Oxigen Chemical Co., Ltd), están basados en hierro en polvo finamente dividido, llevan excipientes (sales y soportes minerales para suministrar el grado de humedad y una superficie específica adecuada) para que el proceso de oxidación del hierro sea lo más efectivo posible, pueden reducir el nivel de oxígeno residual a valores iguales o inferiores a 0.01 %. Mitsubisi con Ageless® es el líder mundial.

Bioka (Bioka Limited) es un absorbedor basado en proceso de oxidación enzimática, con principios activos que son componentes naturales de los alimentos.

La selección del producto (forma, tamaño, capacidad de absorción de oxígeno, tiempo para alcanzar el equilibrio) debe ser muy rigurosa y adaptada a las necesidades y características de cada alimento (líquidos, sólidos, secos, grasos, contenido en agua, actividad del agua, etc.).

#### *- Sistemas integrados*

SHELFPLUS® O2 (Ciba Specialty Chemicals) y Oxyguard™ (Toyio Sekan Group) están basados en hierro e incorporados en sistemas multicapa. OSP® (Chevron-Phillips Chemical Company LP) es una resina oxidable que se activa por luz ultravioleta. Oxbar™ (Constar Internacional Inc.), Cryovac OS 1000 (Cryovac), Amosorb series (BP Amoco Chemicals) y ActiTUF® (M&G Group's) son materiales que se pueden integrar en sistemas multicapas.

### *Campo de aplicación*

Productos alimenticios sensibles al oxígeno: Platos preparados a base de pescado, mariscos, carnes, verduras, pescados curados, entremeses fríos (vieira, pastel de pescado, ensalada mixta), frituras, frutos secos, pan, y productos de bollería, pastas, pizzas, chocolates y bombones, marrón glacé, productos cárnicos, cerveza, zumos de frutas y bebidas refrescantes, productos lácteos, etc.

## **2.2. Absorbedores de etileno**

La mayoría de las frutas y vegetales liberan gas etileno después de la recolección. El etileno es una fitohormona que inicia y acelera la maduración, produce ablandamiento y la degradación de las clorofilas y conduce inevitablemente al deterioro de estos alimentos

La presencia de etileno reduce la vida comercial de las frutas y vegetales frescos o minimamente procesados.

### *Mecanismos de acción*

Diversos mecanismos de acción están disponibles comercialmente:

- Uno de los principales se basa en la utilización de permanganato potásico que oxida el etileno hasta anhídrido carbónico y agua, el contenido en permanganato típico es entre el 4-6% y dispuesto sobre sustratos adecuados, que favorezcan el proceso redox (p.e. con una elevada superficie específica que es factor muy importante, se puede utilizar alúmina, arcillas, silicagel, carbón activo, etc.) Además pueden ser incorporadas diversas sustancias como catalizadores del proceso.

- Otros sistemas están basados en la capacidad que tienen determinados materiales de absorber el etileno, p.e. minerales finamente divididos y dispersados como zeolitas, silicatos, carbón activo, etc. Solos o acompañados de algún agente oxidante.

### *Sistemas comerciales*

La presentación comercial, al igual que para los absorbentes de oxígeno, puede ser como elementos independientes o integrados en el envase.

Como saquitos basados en permanganato, como los de "ethylene control" (Ethylene Control Inc.) o integrados directamente en el propio material polimérico como minerales finamente dispersados, es el caso de PEAKfresh® (Peak Fresh Pty Ltd) y EvertFresh (Evert-Fresh Corporation).

### *Campo de aplicación*

Frutas y vegetales sensibles al etileno: Manzanas, kiwis, plátanos, mango, tomates, cebollas, zanahorias, espárragos, etc.

## **2.3. Absorbentes / reguladores de humedad**

Muchos productos alimenticios requieren un control del agua, ya sea en estado líquido o de vapor. La presencia de líquidos de exudación (agua, sangre u otros fluidos) en productos cárnicos y pescados desmerece la presentación de los mismos. Niveles elevados de agua en el interior del envase favorece el crecimiento de microorganismos, causa el ablandamiento de productos secos y crujientes como galletas, pastas y bizcochos, y origina apelmazamiento y endurecimiento en leche en polvo o café liofilizado. Por otro lado, excesivas pérdidas de agua pueden favorecer la oxidación de lípidos.

Los productos envasados con un valor alto de humedad relativa en el espacio

de cabeza, son susceptibles a las fluctuaciones de temperatura durante el transporte o almacenamiento lo que favorece la formación de condensados y nieblas.

### *Mecanismo de acción*

Mediante un proceso de absorción en unos casos eliminando el exceso de agua líquida y en otros controlando la humedad relativa en el espacio de cabeza del envase.

Se utilizan agentes altamente higroscópicos y deshidratantes. Se pueden utilizar fibras de celulosa, sales de poliacrilato, polipropilenglicol, carbohidratos, sales minerales, silicagel, montmorillonitas, tamices moleculares, óxido de calcio, etc.

### *Presentación comercial*

Desde el punto de vista de la presentación comercial se pueden clasificar en:

- Absorbedores de agua líquida (almohadillas, hojas) generalmente compuestos de dos o más capas de materiales polimérico microporosos conteniendo los agentes higroscópicos. Se utilizan para absorber líquidos de exudación carnes y pescados cortados, para mejorar la presentación al consumidor y evitar el crecimiento microbiano.

- Reguladores de la humedad relativa (saquitos o etiquetas) conteniendo agentes deshidratantes. Se utilizan para regular la humedad en un amplio rango de productos, quesos, carnes, frutos secos, especias.

### *Algunos sistemas comerciales:*

Supa-Loc®, Dri-Loc® Lite-Loc® Plus (Productos Cryovac, Sealed Air ) son almohadillas absorbentes, con base celulosa y compuestas de diferentes capas.

Pichit® (Showa Denko KK) es un material que contiene humectantes como propilenglicol o carbohidratos incorporados entre dos hojas de polyvinil alcohol. Se puede utilizar para envolver carnes o pescados.

MiniPax®, StripPax® y Natrasorb® series (Multisorb Technologies), Desi Pak®, Sorb-it® y Tri-Sorb® (Süd-Chemie Group) contienen agentes deshidratantes y se presentan bajo la forma de saquitos o tiras.

### *Campo de aplicación*

Pescados, mariscos, carnes, quesos, frutos secos, especias, productos de panadería, alimentos secos, liofilizados, frutas y vegetales cortados, etc.

Pocos conceptos han sido desarrollados comercialmente para eliminar, en algunos casos selectivamente, compuestos indeseables.

Los aldehidos pueden ser eliminados selectivamente, desde el espacio de cabeza del envase, utilizando polímeros absorbentes modificados con otros materiales.

Multisorb Technologies ofrece la posibilidad de incorporar en sus productos desecantes apropiados absorbentes para la eliminación de olores.

El sabor amargo del limoneno formado durante el proceso de pasteurización y almacenamiento de zumos de frutas es eliminado con films que incorporan acetato de tricelulosa conteniendo enzimas específicos inmovilizados.

Las aminas formadas como consecuencia de proteólisis también pueden ser eliminadas utilizando ácidos orgánicos como cítrico y ascórbico, en otros casos mediante procesos de oxidación, pero no están disponibles comercialmente.

## **2.5. Liberadores/emisores de antimicrobianos**

La liberación de agentes antimicrobianos es un campo de aplicación potencial de los envases activos, además de los mecanismos que ya vimos de eliminación de O<sub>2</sub>.

Un elevado número de agentes (etanol, anhídrido carbónico, iones plata, dióxido de cloro, antibióticos, ácidos orgánicos, aceites esenciales y especias, etc) se ha ensayado para inhibir el crecimiento de microorganismos que pueden conducir al deterioro de los productos alimenticios. Aunque desde el punto de vista comercial no son muchos los sistemas que se utilizan.

### *Liberadores de etanol*

En Japón se utilizan con gran éxito liberadores de etanol, el uso de etanol a relativas bajas concentraciones en la atmósfera interior (4-12%), en el espacio de cabeza actúa de manera efectiva para evitar el crecimiento de microorganismo, bacterias y mohos.

Comercialmente se trata de saquitos que se incorporan al envase y que contienen etanol sobre un soporte de sílica finamente dividido y con un grado de humedad adecuado.

Antimold mild® (antes ethicap) y Negamold® (Freund) son utilizados con gran éxito en productos de panadería, pastelería y alimentos secos o semisecos.

### *Liberadores de CO<sub>2</sub>*

Pueden ser utilizados conjuntamente con absorbedores de oxígeno para mantener una atmósfera adecuada para la conservación de determinados productos.

En el caso de los productos pesqueros, una alta concentración de dióxido de carbono en la atmósfera del envase es ventajoso para el producto debido a que tiene un efecto bacteriostático y a que mantiene las propiedades organolépticas.

Ageless® (Mitsubishi Gas Chemical) también se comercializa como liberador de CO<sub>2</sub>.

### *Liberadores de aditivos conservadores*

Hay muchas aplicaciones en la literatura sobre la incorporación a films y materiales plásticos de sustancias utilizadas como aditivos conservadores (ácidos sórbico, benzoico, propiónico y sus sales, o bactericinas como la nisina). Sin embargo hay reticencias a su comercialización por parte de la industria alimentaria, si bien se reconoce el potencial de estos envases, ya que de esta forma se reduce la cantidad de aditivo que se puede incorporar en el producto.

### *Otros*

Otros sistemas que están en rápido desarrollo son liberadores de aromas, sabores, colorantes, ingredientes alimentarios, el consumidor demanda creatividad de la industria. La incorporación de aromas que potencien la deseabilidad del alimento en el material plástico se puede utilizar para mejorar el aroma propio del producto fresco y para realzar el aroma del alimento al abrir el envase (López-Rubio et al. 2004).

Dentro de los sistemas activos con agentes antimicrobianos también se incluyen aquellos que no pasan al alimento, como por ejemplo algunos sistemas que contienen iones plata y que impiden el crecimiento microbiano en la interfase plástico-alimento.

Food Touch™ (AgION Antimicrobial) está basado en una zeolita de plata incorporada en el material de contacto alimentario ejerce su acción en la superficie del mismo. Impide el crecimiento microbiano porque interrumpe la replicación del RNA del microorganismo. Es inerte, incoloro, inodoro e insípido, está aprobada por la FDA.

## **2.6. Otros sistemas que pueden ser considerados activos**

- Susceptores de microondas.
- Sistemas que calientan o enfrían el producto alimenticio.

- Films que compensan cambios en la temperatura, modificando su permeabilidad a los diferentes gases, para mantener una atmósfera interior adecuada.

### **3. SISTEMAS INTELIGENTES**

Hay toda una variedad de indicadores que pertenecen a este grupo y son de interés: Indicadores tiempo-temperatura, indicadores de estancamiento o de integridad del envase e indicadores de frescura.

Los principales sistemas están patentados, pero solo un número limitado ha sido comercializado porque se necesitan unos requerimientos muy estrictos; estos indicadores deben ser fácilmente activados y exhibir un cambio (o mostrar una indicación) que sea fácilmente medible e irreversible y los cambios dependientes del tiempo y de la temperatura de exposición deben ser reproducibles e idealmente corresponderse o ser fácilmente correlacionables con la calidad del producto alimenticio.

#### **3.1. Indicadores tiempo-temperatura**

Son pequeños dispositivos que muestran fácilmente cambios medibles, irreversibles y reproducibles dependientes del tiempo y de la temperatura. Muestran cambios de color que responden de forma acumulativa a la exposición a la temperatura.

La idea básica que subyace detrás de estos indicadores es que la calidad del alimento se deteriora tanto más rápidamente cuanto más alta es la temperatura de exposición, debido a que se aceleran las reacciones químicas, bioquímicas o el crecimiento microbiano. Es importante que el comportamiento del indicador sea igual al deterioro que sufre el alimento en las mismas condiciones de tiempo y temperatura. Cuando el indicador manifieste su vencimiento, este debe corresponderse con el final de la vida útil del producto alimenticio.

Los principales mecanismos de acción incluyen reacciones enzimáticas, de polimerización o difusión química.

Sirven para monitorizar la exposición a temperaturas inadecuadas durante el transporte y el almacenamiento, constituyen una etiqueta de calidad añadida para el productor ya que garantizan que el producto llega al consumidor.

Un ejemplo de indicador tiempo-temperatura es Fresh-Check® (LifeLines Technology) (Figura 2). El sistema se activa cuando se pone a la temperatura de funcionamiento. Inicialmente vienen ultracongelados y según avanza el proceso se oscurece hasta que al sobrepasar la referencia nos avisa que no se debe consumir el producto, siendo un buen complemento visual para la fecha de caducidad o de consumo preferente.



Figura 2 - Indicador tiempo-temperatura Fresh-Check®

Checkpoint® de Vitsab es un indicador basado en una reacción enzimática. El sistema se activa por presión. El punto final está definido cuando se aprecia la primera aparición del color rosa-magenta en la zona central del indicador (Figura 3).

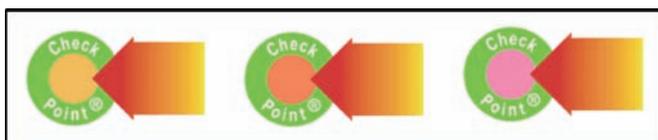


Figura 3 - Indicador tiempo-temperatura Checkpoint®

Entre otros ejemplos de sistemas inteligentes se encuentra el MonitorMark™ (3M), el cual también está basado en un proceso de difusión de un colorante y que indica el nº de días transcurridos (Figura 4).



Figura 4 - Indicador tiempo-temperatura MonitorMark™

### 3.2. Los indicadores de estanqueidad (fugas)

El O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> pueden ser utilizados para monitorizar la calidad de los alimentos, pueden ser utilizados como indicadores de estanqueidad (de fugas) o verificar la eficacia de un p.e. un absorbedor de oxígeno.

La mayoría de estos indicadores asumen cambios de color como resultado de una reacción química o enzimática, colorantes redox como el azul de metileno pueden ser utilizados.

Ageless Eye® (Mitsubishi Gas Chemical) es un indicador que se introduce en el interior del envase y en presencia de oxígeno (> 0.5 %) cambia del rosa al azul (Figura 5).



*Figura 5 - Indicador de oxígeno Ageless-eye.*

### **3.3. Indicadores de frescura**

Dan una indicación acerca algún parámetro de calidad del producto envasado, del deterioro o de la pérdida de frescura.

En la literatura están descritos diversos mecanismos de indicación de metabolitos volátiles producidos durante el envejecimiento de los alimentos tales como diacetilo, aminas, amonio, sulfhídrico.

Libro subvencionado por



**IGAPE**  
INSTITUTO GALEGO DE PROMOCIÓN ECONÓMICA



**CENTRO TECNOLÓGICO DEL MAR**  
FUNDACIÓN CETMAR