LAS APLICACIONES AL SECTOR DE LAS TECNOLOGÍAS EMERGENTES

Josep M. Monfort
Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (IRTA)

Resumen

Los alimentos no solo tienen que ser inocuos, es decir seguros con la salud de quien los ingiere, sino organolépticamente deseables. El proceso tradicional ha sido tratarlos con calor, de forma agresiva, equilibrando temperatura y duración, hasta asegurar la desaparición e inhabilitación de los microorganismos patógenos o limitantes de su vida útil. Esos tienen también efectos indeseables sobre las texturas, aromas, colores y composición de los alimentos, dado que se destruyen moléculas dietéticamente interesantes, como las vitaminas.

En las últimas décadas se han empezado a utilizar tecnologías usadas en otros sectores, que debidamente combinadas, producen unos resultados equiparables con su acción sobre los microorganismos, pero que afectan menos a las otras cualidades esperables en cada alimento. Las altas presiones, el calentamiento por ondas electromagnéticas y las radiaciones son algunas de las que se contemplan, aunque existen otras muchas como la nanotecnología aplicada a los envases, las atmosferas modificadas, etc.

Abstract

Foods not only have to be innocuous—namely, safe to the health of those ingesting them—but also sensorially desirable. The traditional process has been aggressive heat treatment, balancing temperature and duration, to ensure the disappearance and rendering harmless of pathogenic microorganisms that limit shelf lives. These processes also have undesirable effects on the textures, smells, colours and composition of foodstuffs, given that they destroy dietetically interesting molecules, such as vitamins.

In recent decades technologies used in other sectors have started to be employed. Duly combined, they produce comparable results in their actions on microorganisms, but affect other beneficial and favourable qualities in each food to a lesser degree. High pressures, heat with electromagnetic waves and radiation are some of those that are considered, although there are many others, such as nanotechnology applied to packaging, modified atmospheres, and so forth.

1. Introducción

La aparición de las llamadas tecnologías emergentes obedece al reto que algunas industrias alimentarias y un buen número de investigadores de todo el mundo se vienen planteando de utilizar tecnologías de proceso que retengan o generen los atributos sensoriales óptimos junto con la calidad nutricional, a la vez que se aumente la vida útil de los alimentos procesados.

A este paradigma respondió ya el profesor Leitsner (1995) con su *teoría de los obstáculos* que permitió el rápido desarrollo de los alimentos mínimamente procesados, principalmente en aquellos donde el principal obstáculo es la deshidratación (descenso de la actividad de agua) junto con el descenso del pH. Sin embargo, en los alimentos donde el principal obstáculo es el tratamiento térmico, para conseguir productos mínimamente procesados deben combinarse gran número de obstáculos (Aw, pH, ácidos orgánicos, antimicrobianos, potencial redox, envasado...), que complica enormemente el proceso y sobre todo genera una percepción en el consumidor contraria a lo pretendido. Por añadidura, determinados patógenos, algunos también llamados emergentes (*Listeria, E.coli* enterohemorrágica, *Campylobacter, Arcobacter*, etc.), muestran ser recalcitrantes ante los procesos de tratamiento mínimo comprometiendo de ese modo la seguridad y la vida útil de esos alimentos.

Seguramente por ello y también con el ánimo de disponer de procesos menos intensivos en consumo energético, desde hace más de una década la industria alimentaria está buscando tecnologías de proceso alternativas que aporten alimentos seguros, de sabor natural y fresco, nutritivos, con la menor cantidad posible de conservantes, y el menor tratamiento térmico.

Lo cierto es que en la segunda mitad del siglo pasado se desarrollaron un buen número de tecnologías «no-térmicas» como la alta presión (HHP), la homogenización por ultra-alta presión, los campos eléctricos pulsados (PEF), los ultrasonidos de alta intensidad, los pulsos de luz de alta intensidad, la radiación ionizante, la filtración de membrana, los fluídos supercríticos, el plasma frio atmosférico, la manotermosonicación, el envasado aséptico,etc.

En el presente artículo se exponen de entre las anteriores aquellas que están teniendo una cierta aplicación en la industria y por consiguiente han abandonado ya la escala de prototipo y disponen de empresas fabricantes de equipos industriales y que funcionan, o pueden hacerlo en el futuro inmediato, en el sector alimentario, constituyendo una prueba más de la incorporación incesante de nuevas tecnologías de todo tipo en este sector, tradicionalmente considerado como un sector maduro, de baja intensidad innovadora y *low-tech*. Nada más alejado de la realidad. El sector alimentario es un verdadero sumidero de tecnologías, un receptor transversal de aplicaciones desarrolladas a menudo en otros campos o para otros sectores pero que rápidamente encuentran su aplicación en un sector tan dinámico como el alimentario. Los nuevos conceptos de seguridad alimentaria, de procesado mínimo, de nutrigenómica, del binomio nutrición-salud, la incesante y obligada reducción en costes energéticos, la reducción en las huellas de agua y de carbono, el aumento de la productividad y la reducción del malbaratamiento alimentario, la exportación al otro extremo del planeta, y un larguísimo etc. son indicadores irrefutables de la alta tecnología que incesantemente incorporan las empresas consolidadas y que van desde el análisis bigdata de la información que de la nube indica las tendencias de consumo, hasta el desarrollo incesante de nuevos materiales de envase, la robotización, las aplicaciones biotecnológicas y genómicas o las nuevas tecnologías de procesado. En definitiva se está avanzando decididamente hacia la fábrica domótica integral o smart industry.

2. Procesado por alta presión

Ya en 1993 los japoneses introdujeron en el mercado las primeras mermeladas tratadas por alta presión (HHP) y de forma progresiva se han ido incorporando muchos otros productos alimenticios alrededor del mundo, desde zumos hasta mariscos, y en algunos casos desarrollando nuevas propiedades texturales fruto del propio tratamiento.

El proceso se basa en inyectar agua a través de unas bombas intensificadoras en una cámara de presión, generalmente un cilindro de acero zunchado, cerrado por sus extremos por émbolos con juntas cerámicas, en cuyo interior se colocan los alimentos envasados en materiales

flexibles y sellados, y controlando mediante sondas la temperatura fruto del calentamiento adiabático y la presión. Durante la presurización tanto el alimento como su envase sufren un descenso de volumen entre el 10-20 %, recuperando el original durante la despresurización. Se trata pues de un proceso discontinuo (en Batch) .

Las presiones de trabajo oscilan entre los 50 y 1.000 MPa (aproximadamente entre las 500 y 10.000 atmósferas de presión), algo equivalente a colocar dos elefantes de 5.000 kg uno sobre otro balanceándose sobre una moneda de 1 cm^2. O por utilizar otro símil, 600 MPa que es la presión más utilizada en el tratamiento de alimentos, equivale a seis veces la presión del fondo de la fosa de Las Marianas (11.034 m) en el océano Pacífico occidental. La subida de la presión produce un aumento paulatino de la temperatura de 3 ºC cada 100 MPa conocido como *calentamiento adiabático*. De tal manera, un producto que se introduce en el presurizador a 25 ºC y se somete a 600 MPa va a ver incrementada su temperatura hasta alrededor de los 43 ºC, produciéndose por tanto un efecto sinérgico con la presión en la inactivación microbiana. El calentamiento adiabático es mayor en productos con elevado contenido en grasa.

Figura 1. Presión en las profundidades marinas

También se han desarrollado procesos semicontínuos para el tratamiento de alimentos bombeables como los zumos, en cuyo caso el diseño del equipo es sustancialmente distinto, basándose en un pistón libre que comprime directamente el líquido que ha de ser envasado asépticamente tras la presurización. Estos sistemas no han tenido éxito comercial dado que se deterioran muy rápidamente por la corrosión que provoca el propio alimento sobre los elementos del equipo.

El tratamiento por HHP se está aplicando en una amplia gama de alimentos que incluye los productos cárnicos tanto curados como cocidos (jamón cocido, panceta cocida, salchichón, chorizo, jamón curado, etc.), los mariscos y pescados, frutas, vegetales, zumos, ensaladas y platos precocinados, y algunos derivados lácteos (Hugas *et al.*, 2002). Se calcula que el mercado de los alimentos presurizados viene a representar ya más de 2.000 millones de euros (Hernando, 2012), habiendo un buen número de empresas usuarias de esta tecnología en España (Figura 2), donde además tenemos uno de los mayores fabricantes mundiales (Hiperbaric S.A., Burgos) y una empresa que trabaja a maquila con el equipo de mayor capacidad diseñado hasta la fecha (APA Processing, Zona Franca, Barcelona).

Tabla 1. Aplicaciones industriales de la alta presión en España

Grupo	Empresa/marca	Productos
Cárnicos	Campofrío	Carne marinada fresca, jamón cocido, jamón curado, embutidos loncheados
	Espuña	Jamón cocido, jamón curado, embutidos loncheados, tapas
	Jamcal	Jamón cocido, jamón curado, embutidos loncheados
	Martiko	Foie-gras, patés, productos de pato
	Noel	Jamón cocido, jamón curado, embutidos loncheados
	Varios a maquila	Prod. cárnicos curados para exportación de varias marcas (datos confidenciales)
Fruta/verdura	Avomix	Zumos de fruta, salsas vegetales
	Coldpress	Zumos de fruta y de hortalizas
	Cuttings	Zumos de fruta
	Dietox	Zumos vegetales detoxificantes
	Fruselva	Zumos de fruta
	Gourmand	Zumos de fruta y de hortalizas
	Guzman Gastronomía	Zumos de fruta y de hortalizas
	Invo	Zumos de fruta, smoothies
	Organic Sol	Zumos de fruta y de hortalizas
	Planet Diet	Zumos de frutas y de hortalizas
Platos preparados	IAN/Carretilla	Platos preparados con verduras y carne
	MRM	Platos preparados
	Noel	Pollo a la barbacoa
	Rodilla	Relleno de bocadillos, salsas
Productos del mar	Crusta C	Pelado de crustáceos
	Maresmar	Pelado de bogavantes
Lácteos	Varios a Maquila	Quesos
Otros	Excelvit	Ovoproducto funcional

Fuente: IRTA.

Pese a que la tecnología de la HHP surgió en Japón, ha sido en Estados Unidos y Europa donde un mayor número de empresas la ha incorporado. Algunos ejemplos son Meida-Ya y Fuji Ciku Mutterham en Japón que presuriza mermeladas, zumos de fruta y lácteos, la primera de ellas y conservas de carne de vacuno la segunda; en EEUU, Avomex que empezó presu-

rizando guacamole y ya lo hace en salsas, zumos y platos preparados, Purdue Farms procesa derivados de pollo, Hannah Int. presuriza humus, Motivatit Seafoods trata las ostras y marisco; Santa María Foods y Maple Leaf Foods Inc en Canadá ambas presurizan una amplia gama de derivados cárnicos; Deli 24 y Orchard House en el Reino Unido presurizan *snacks* de carne y queso, y zumos de fruta y smoothies, respectivamente; en Portugal Frubaca produce zumo de manzana presurizado al igual que Pampryl en Francia; el carpaccio de carne de vacuno se presuriza en Holanda por Zwaneberg, y en Rumania Chris Tim trata salchichones y otros fermentados de carne de porcino.

3. Efectos y finalidades de la HHP

Como cualquier otro método de conservación de alimentos, las altas presiones deben evaluarse en cada caso por su efectividad contra los microorganismos patógenos que puedan estar presentes, y en segundo término en cuanto a su capacidad de reducir significativamente los microorganismos alterantes al objeto de mejorar la vida útil del producto; pero también debe prestarse especial atención a la supervivencia de microorganismos que pueden recuperarse e incluso multiplicarse durante la vida útil posterior al tratamiento por HHP. Así, *Listeria monocytogenes* es un bacilo gran positivo que está presente en alimentos acidificados, en productos lácteos y en ensaladas de IV gama y carnes listas para el consumo. Esta bacteria es moderadamente resistente al calor, puede crecer en condiciones de anaerobiosis en refrigeración (envasado al vacío o en atmosfera modificada) y en un amplio margen de pH desde 4.4 hasta 9.6 y es ubicua en las instalaciones.

No solo los patógenos emergentes como *Escherichia coli* , que tiene una gran barotolerancia, y sus serotipos más virulentos, entre ellos *E. coli* O157:H7 y *E.coli* O104:H4, enterohemorrágicos y verotoxicogénicos, pueden encontrarse en una amplia gama de alimentos. También debemos continuar prestando toda la atención a patógenos clásicos pero que permanecen en la cadena alimentaria como es el caso de las Salmonellas (*S. enteritidis, S. entérica, S. typhi*), los Estáfilos (*Staphylococcus aureus)*, los Clostridios (*Clostridium botulinum, Cl. perfringens, Cl. Sporogenes*) y los *Bacillus* (*B. cereus, B. sporothermodurans, B. coagulans*) (Bover-Cid *et al*., 2012).

La acción de la alta presión sobre las células de los microorganismos es en primera instancia la disrupción de la membrana celular, modificando sus propiedades en cuanto a un descenso de su fluidez, la desnaturalización de las proteínas de membrana encargadas del transporte, y provocando una transición de fase de la bicapa lipídica. Paralelamente en el citoplasma también se provocan fenómenos de compresión vacuolar, condensación de nucléidos, separación de la pared celular de la membrana, disrupción del complejo de replicación y desnaturalización y agregación proteica con la consiguiente pérdida de funcionalidad (Bajovic *et al*., 2012).

Generalmente las bacterias gran negativas son menos resistentes a la presión. En los esporulados se conoce el efecto de germinación que provoca una presurización suave (50-300 MPa), pero una vez germinadas son susceptibles a ser inactivadas a presiones altas (Black *et al.*, 2007). *Cl. botulinum* es el patógeno más baroresistente tanto en forma vegetativa como esporulada, necesitándose más de 800 MPa para iniciar su inactivación, presión esta que hoy por hoy no consiguen los equipos de HHP comerciales. Sin embargo la combinación de una temperatura de 90 ºC y una presión superior a los 700 MPa es efectiva contra las esporas. Los ciclos alternos de presión-despresurización también se han mostrado efectivos contra los esporulados pero la vida útil del equipo se reduce drásticamente resultando inviable des de un punto de vista económico.

Los micelios de hongos y las levaduras son más barosensibles que las bacterias viéndose inactivados a tratamientos de entre 300-400 MPa durante pocos minutos. Sin embargo las ascosporas de los hongos termoresistentes son particularmente baroresistentes también, requiriendo una combinación de presión superior a los 600 MPa y de temperatura superior a los 60 ºC.

El modo de actuación de la HHP sobre los virus aún no está del todo dilucidado aunque parece intervenir en gran medida la desnaturalización de las proteínas de la cápside responsables de su infectividad. En general los virus que tienen la cápside recubierta de una envuelta son menos resistentes que los que no la tienen. Así los principales virus de transmisión alimentaria, a saber, Hepatitis A, norovirus, astrovirus, rotavirus y adenovirus entérico, son inactivados entre 400-500 MPa durante no más de 5 minutos (Kovac *et al.*, 2012).

Al margen de los microorganismos mencionados, los tratamientos por HHP pueden eliminar parásitos alimentarios, incluyendo protozoos y nematodos, en condiciones intermedias (400-500 MPa, 3-5 min) (Rosypal *et al.*, 2011).

Sin embargo también es de vital importancia en la toma de decisión las ventajas que ofrece la tecnología HHP en relación a las características organolépticas en comparación con los clásicos tratamientos térmicos.

4. Aplicaciones en la industria cárnica

Probablemente la industria cárnica fue el sector pionero en Europa en la aplicación de la HHP a los productos transformados. La necesidad de poder asegurar presencia cero de Listeria en jamón curado, tanto loncheado como en centros, con destino a mercados de exportación como Australia, Japón o EEUU, hizo buscar alternativas robustas a las empresas cárnicas exportadoras.

La empresa pionera fue Espuña, SA (Olot, Girona) que comercializó loncheados de jamón cocido y de jamón curado ya en 1998, primero bajo la marca de Hipercor y posteriormente ya con la propia. El conocimiento de la tecnología le permitió a Espuña desarrollar toda una nueva gama de productos, las «tapas al minuto».

Campofrio le siguió dos años después de que su entonces socio accionarial, la americana Hormel Foods, tomase la decisión de comprar un equipo de HPP a Avure Technologies. Campofrío estableció una relación estratégica con la entonces naciente empresa de fabricación de equipos de HPP, la burgalesa Hiperbaric, *start-up* del grupo Nicolás Correa, y adquirió tres equipos donde se presurizó jamón cocido y curado, y se pudo desarrollar un nuevo producto, la gama del «vuelta y vuelta».

Empresas españolas como Rodilla o IAN (Carretilla) les siguieron, y así mismo otras europeas como la alemana Abraham o la Italiana Vismara. En América a Hormel Foods le siguió Tyson y la canadiense Maple Leaf Foods.

Lo cierto es que en los productos cárnicos en los que el color se ha estabilizado ya sea a consecuencia del tratamiento térmico en jamón cocido, o por la nitrificación y curación en el caso del jamón curado, el producto prácticamente no sufre cambios en sus características organolépticas al ser presurizado a 600 MPa. La presurización reduce la pastosidad y la adhesividad de las lonchas aunque incrementa ligeramente la fibrosidad y el gusto salado, y no modifica el resto de atributos sensoriales.

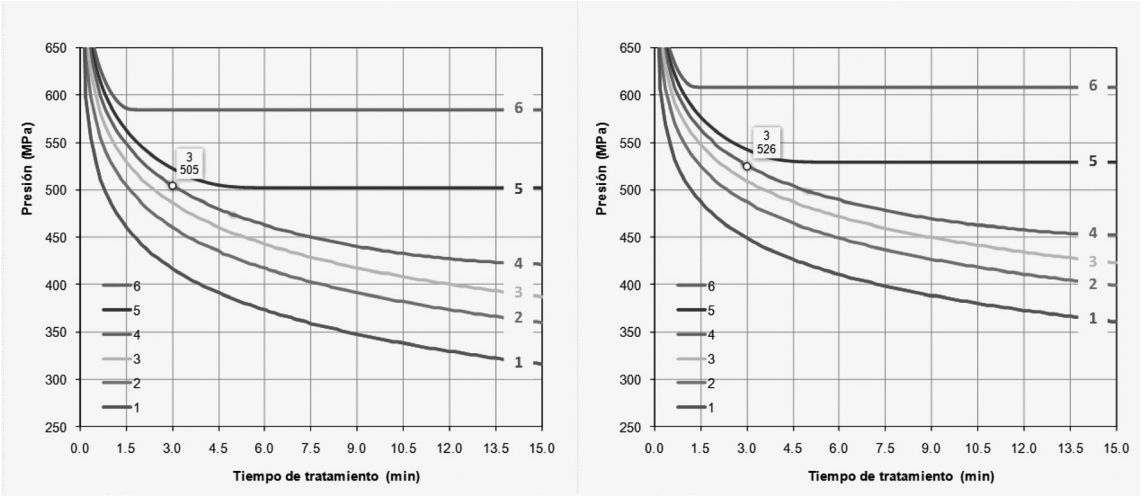
El hecho fundamental de que el producto se somete a la presurización en el envase definitivo que adquirirá el consumidor, y que este lo caliente en el hogar por horneado o microondas, en el mismo envase, ha permitido que estas empresas cárnicas apliquen la tecnología a todo tipo de *ready-to-eat meals*, es decir a una enorme variedad de platos y alimentos preparados listos para su consumo, y consecuentemente han ampliado su gama de productos industriales.

Figura 2. Ejemplo de productos listos para su consumo obtenidos mediante alta presión

Fuente IRTA.

La amplia y rápida asunción de esta tecnología en el sector cárnico viene sustentada por los trabajos científicos que han demostrado que en jamón curado un tratamiento de 6 minutos a 600 MPa reduce en 4 log los recuentos de *Listeria monocytogenes*. Se ha modelizado (Hereu *et al.*, 2012a) la cinética de inactivación (300-800 MPa) de *L. monocytogenes* en productos cárnicos con diferente contenido en grasa (jamón cocido con 4,5 % y mortadela 17 %). La satisfactoria validación de los modelos desarrollados utilizando datos externos e independientes apoyan su idoneidad para fines predictivos en productos cocidos RTE, como lo es establecer o fijar los criterios de proceso necesarios para cumplir con los Objetivos de Seguridad Alimentaria fijados. Así, a través de los diagramas de isoreducción (Figura 4) se deduce que para conseguir el criterio de funcionamiento de 4 unidades logarítmicas de reducción mediante un tratamiento durante 3 min, se requerían presiones de entre 500 y 525 MPa para los productos cárnicos cocidos magros (tipo jamón cocido) y más grasos (tipo mortadela), respectivamente (Hereu *et al.*, 2012a).

Figura 3. Líneas de isoreducción (log N/N_0) de *L. monocytogenes* en productos cárnicos cocidos RTE en función de la presión y tiempo de tratamiento



Fuente: Hereu *et al.* (2012a).

Sin embargo la supervivencia de bacterias lesionadas subletalmente tras la presurización debe constituir un elemento de preocupación y control dado que pueden recuperarse durante la vida útil del producto si las condiciones les son favorables, por ejemplo por una interrupción en la cadena de frio durante la comercialización (Jofre *et al.*, 2009), y por ello se postula el empleo en paralelo de sustancias antimicrobianas naturales (Garriga *et al.*, 2002; Aymerich *et al.*, 2005).

Como se ha venido realizando ya, por la industria cárnica, en nuevos productos reestructurados sencillos, la combinación de la tecnología de la alta presión combinada con la acción

enzimática, a menudo potenciada por la primera, puede ser una fuente de nuevos productos con propiedades más saludables (Funallosa *et al.*, 2009, 2012).

5. Aplicaciones en ensaladas y platos listos para el consumo

Tanto los vegetales como las carnes son los ingredientes mayoritarios en ensaladas y platos listos para su consumo. La efectividad de la HHP sobre ambos a la vez que se conservan sus características tanto sensoriales como reológicas está llevando a muchas empresas de este sector a adoptar esta tecnología. Presiones de entre 200 y 400 MPa a 5 ºC durante máximo 30 minutos ocasiona una reducción de entre 2 y 4 log en los recuentos de bacterias mesófilas, levaduras y hongos en lechuga, tomate, espárrago, espinacas, cebollas, coliflor, etc. (Arroyo *et al.*, 1999), y únicamente la coliflor muestra un cierto pardeamiento tras el tratamiento probablemente debido a una parcial inactivación de la enzima peroxidasa. Así mismo la efectividad de los tratamientos de HHP sobre carnes y derivados ha sido profusamente estudiado; así en salchichas de vacuno tipo *cajun*, *strassburg*, *pastrani*, o de carne de ave o cerdo, fermentados o curados, así como en toda la gama de cárnicos cocidos, los tratamientos HHP a 600 MPa, 20 ºC durante 3-6 minutos reducen drásticamente los recuentos tanto de anaerobios como aerobios mesófilos, *Listeria*, *Staphylococcus, Brochothrix thermosphacta*, coliformes, hongos y levaduras. Pero además, Jofre demostró que dichas condiciones de tratamiento no solo reducen los patógenos justo tras la presurización sino que retardan también el crecimiento de los supervivientes durante un periodo de almacenaje de 120 días a 4 ºC (Jofre *et al.*, 2009).

En cuanto a las ensaladas aderezadas y a las mayonesas resulta especialmente interesante el procesado por HHP debido al riesgo de patógenos acido-tolerantes. Cuando el queso forma parte del toping de la ensalada también es muy efectiva la HHP produciéndose a 600 MPa durante 3 minutos reducciones de hasta 6 log en los recuentos bacterianos.

Todas las carnes empleadas en la confección de ensaladas son curadas, cocidas o marinadas, y no se observan cambios en el color o la textura, sin embargo no sucede lo mismo con los productos de la pesca como el salmón o el atún donde la estabilidad dependerá de las condiciones de procesado previo al tratamiento por HHP (Picouet *et al.*, 2011).

En general las hortalizas y verduras mantienen muy bien su textura, y los atributos de crujiente o firmeza, aunque la cebolla sea la más sensible a HHP.

6. Aplicaciones en fruta procesada

La industria de la fruta procesada, ensaladas y zumos, ha basado su conservación ya sea en las atmosferas controladas o en la pasteurización térmica, en el primer caso con resultados muy discretos de vida útil y en el segundo a costa de una pérdida de palatabilidad y sabor natural y de valor nutricional. La HHP es una clara alternativa a la conservación de estos alimentos,

generalmente de pH bajo, si se establecen correctamente en cada caso los parámetros de proceso, porque la calidad de la fruta o zumo procesado puede cambiar durante el almacenamiento debido a que las reacciones enzimáticas pueden continuar si no se han inactivado completamente los enzimas endógenos y la actividad microbiana. Pueden obtenerse por HHP zumos de larga conservación y sabor natural, sin conservantes, sin decantación y sin aroma anómalo.

Diversos autores han establecido las condiciones de tratamiento para diversos zumos (arándano, naranja, batido de naranja, maracuyá, granada, sandía, etc.) (Barba *et al.*, 2011), purés de fruta (guacamole, pulpa de piña, puré de guayaba, puré de tomate, puré de nectarina) (García-Parra *et al.*, 2011), o de trozos de fruta. Dado que los carotenoides y las antocianinas son los principales pigmentos responsables del color naranja-amarillo al rojo y del rojo al azul, respectivamente, y que ambas familias de pigmentos son estables durante la presurización, y dado que los enzimas responsables del pardeamiento son barosensibles, no es de extrañar que la inmensa mayoría de los zumos y purés de fruta conserven su color tras la baropasteurización. Pero al menos tan importante como lo anterior es el hecho de que las vitaminas del grupo B, alguna de ellas muy termolábil como la tiamina, no se ven afectadas por la presurización de la fruta, al igual que tampoco se ve afectada la vitamina C.

Starbucks parece haber apostado claramente por esta tecnología y compró en 2012 la empresa Evolution Fresh que produce zumos de fruta presurizados.

7. Tratamiento mediante campos eléctricos pulsados

La electroporación es una técnica empleada desde hace más de 30 años para introducir fragmentos de ADN en el interior de las células. La técnica consiste en someter las células a un campo eléctrico externo de muy alta intensidad durante unos microsegundos provocándose cambios estructurales en la membrana celular y poros transitorios por donde pueden penetrar los fragmentos de ADN. Precisamente basado en este hecho los campos eléctricos *pulsados de alta intensidad* (PEF) han sido estudiados y desarrollados en estas últimas décadas como una nueva tecnología de conservación de los alimentos.

El concepto base es el de provocar tanta disrupción de la membrana que los poros, tanto por cantidad como por permanencia, provoquen la muerte de los microorganismos.

El profesor Gustavo Barbosa Cánovas de la Washington State University, fue uno de los pioneros en estudiar y desarrollar equipos de PEF (Barbosa *et al.*, 1999), y la empresa PurePulse Technologies de San Diego (California) ha profundizado enormemente en equipos industriales para el tratamiento de alimentos bombeables, fundamentalmente leche y zumos.

Cool Wave Processing ha desarrollado el PEF 2.0 que trabajando a una frecuencia muy baja consigue que la temperatura en la matriz del alimento no sobrepase los 40-45 ºC.

Por su parte la empresa holandesa Pulsemaster, localizada en Bladel, ha patentado un sistema de tratamiento de patata por PEF consiguiendo la desintegración celular, mejorando

la calidad del corte y reduciendo el quebranto de las tiras fritas. Paralelamente se reducen los consumos de agua y energía a consecuencia de la minimización de las etapas de blanqueo, secado y pre fritura. Finalmente el proceso reduce también en un 50 % la adsorción de aceite.

Elea Technology es una compañía holandesa fundada en 2012 y radicada en Quakenbrück, que construye y comercializa los equipos derivados de la tecnología PEF desarrollada en el DIL (*Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik*). Steribeam es una empresa franco-germana ubicada en Estrasburgo que desarrolla equipos de esterilización per PEF. Scandinova es una empresa sueca que radica en Uppsala y que comercializa varias tecnologías emergentes como los pulsos de LED, los de UV y los PEF.

Recientemente, financiado por el Programa Europeo Horizon 2020, se ha aprobado el proyecto FIELDFOOD coordinado por la Universidad de Zaragoza y en el que intervienen dos empresas españolas (Agroindustrias Aragonesas SA y Bodegas Aragonesas), una *spin-off* de la Universidad de Salermo (Prodal Scarl), una empresa irlandesa que produce zumo de manzana orgánico (Con Traas Ltd), y un fabricante portugués de equipos (Energy Pulse Systems Lda.).

En Europa hay ya algunas empresas alimentarias que han escogido esta tecnología en el tratamiento industrial de zumos, tres de ellas son holandesas, FruityKing, Hoogesteger y Albert Heijn, y otra alemana TrueFruits, pero hasta la fecha no se conoce ninguna empresa española que aplique la tecnología PEF en el tratamiento de alimentos (Martin, 2015).

Sin embargo, sí es una tecnología muy estudiada por los investigadores y se han publicado excelentes revisiones bibliográficas al respecto, siendo las de Sobrino y Martín Belloso (2010) y la de Griffiths y Walking (2014) las más recientes.

8. Utilización de radiaciones

De entre todas las tecnologías de tratamiento de los alimentos conocidas probablemente la «irradiación» de los alimentos ha sido la primera y la más profusamente estudiada bajo todos los puntos de vista posibles, la que se ha demostrado más eficaz y la que, aún siendo inocua des de el punto de vista del consumo de los alimentos tratados, es más rechazada por los consumidores.

Y a buen seguro que el desafortunado nombre genérico de *radiación*, y por consiguiente el concepto de irradiación, tiene mucho que ver con la asociación que el consumidor hace del término con el de radiactividad y tecnología atómica, aún cuando se trate de varios tipos distintos de ondas electromagnéticas y de fuentes también distintas.

Los *rayos gamma* provienen de la desintegración de los isótopos radiactivos Cobalto60 o Cesio137. La irradiación beta es un haz de *electrones acelerados* por electroimanes (máxima energía 10 MeV), y los *rayos X* son el producto de la excitación de una placa de Wolframio o Cesio que actúa como ánodo tras el impacto de la radiación beta.

Del amplio espectro de las ondas electromagnéticas que van desde las ondas de radio de muy baja frecuencia, es decir menores de $30x10^3$ Hz, longitudes de onda mayores de 10^4 m, y de bajísima energía (< $19.8 \cdot 10^{-30}$ J), hasta las ondas de frecuencia superior a 30 x 10^{18} Hz, longitudes de onda menores a 10^{10} m, de altísima energía (> $20 \cdot 10^{-15}$ J), y denominadas radiación gamma, las radiaciones son todas aquellas que van desde la luz visible hasta las gamma y comprenden por consiguiente la *luz ultravioleta* tanto cercana como extrema, los rayos beta o electrones acelerados, los rayos X, y finalmente la radiación gamma.

Pese a la percepción negativa de los consumidores y a la necesidad de establecer acuerdos bilaterales entre países con lista cerrada de alimentos tratados por este espectro de ondas electromagnéticas, es sin duda una de las tecnologías más efectivas y deberá tenerse en cuenta en el futuro, aún cuanto a medio plazo el rechazo del consumidor europeo es tal que difícilmente ninguna empresa apostará por ellas.

Aquellos alimentos que son *commodities* en el comercio internacional frecuentemente son vías de introducción de insectos y ácaros que pueden constituir una amenaza de nuevas plagas en los países importadores. Así mismo los parásitos, las bacterias, los hongos y las algas y sus metabolitos tóxicos como las micotoxinas y fitotoxinas presentes en los alimentos incluso después de su procesado, pueden ser un grave peligro para el consumo sobre todo en individuos inmunocomprometidos, gestantes, pacientes de SIDA, trasplantados o ancianos. Los tratamientos mediante radiaciones del alimento procesado, listo para el consumo, dirigido a estas colectividades son una más que interesante alternativa a considerar en muchos casos.

Koutchma y colaboradores (2009) demostraron que la utilización de la radiación ultravioleta de menor longitud de onda (UV-C) prolonga la vida útil de frutas y hortalizas, bebidas y zumos, productos cárnicos frescos, pollo y mariscos. Dado el escaso poder de penetración de la radiación UV, la forma del alimento a tratar es de vital importancia en la creación de sombras a la exposición de la luz y por consiguiente el desarrollo ingenieril de sistemas de aplicación que minimicen el efecto sombra es fundamental.

La evolución a la tecnología de los pulsos de luz ultravioleta mejora la efectividad en la reducción superficial del nivel de microorganismos alterantes y patógenos, consiguiéndose reducciones de más de 6 log (Keklik *et al*., 2009).

La irradiación con gamma permite, sobre alimentos tanto frescos, como deshidratados, cocidos o congelados, en función de la dosis, actuar como agente de desinfestación (0,2-0,8 kGy), de desparasitación (1 kGy), retardador de la maduración (<1 kGy), extensor de la vida comercial (1-10 kGy), tratamiento pasteurizador (2-7 kGy) o incluso esterilizar el alimento (10-50 kGy) (Farkas, 1998).

Su aplicación en frutas y hortalizas se viene realizando en algunos países para mantener la calidad de la fruta fresca y su deterioro por agentes microbianos en post cosecha (Lacroix y Vigneault, 2007). Se ha venido utilizando para evitar la germinación en patata y cebolla, para retrasar el mustiado y el proceso de senescencia, y para el control de la infestación por insectos (≤ 1 kGy). Sin embargo a dosis más altas y con el objetivo de eliminar la presencia

de microorganismos patógenos puede ocasionarse daño tisular y consecuentemente ablandamiento en algunos frutos.

Los tratamientos con haces de electrones acelerados (radiación beta) han sido profusamente estudiados en productos cárnicos listos para su consumo o RTE (*ready to eat*) en el marco del proyecto Consolider-Ingenio Carnisenusa (www.ingenio2010.com). En concreto se demostró que es un método muy efectivo para incrementar la vida útil de este tipo de productos cárnicos sin cambios sustanciales en sus propiedades organolépticas y reológicas (Benedito *et al*. 2011; Herrero *et al.*, 2009a y b). Pero además, aquellos de humedad intermedia (a_w < 0.92), como el jamón curado o los salchichones y chorizos curados, a una dosis de exposición de 1,5 kGy, es decir a una dosis que es un 85 % inferior a la autorizada por los organismos internacionales de salud, pueden cumplir con la exigencia sanitaria para la importación en muchos países de tolerancia cero a *L. monocytogenes* (Cabeza *et al*., 2009), y constituye para estos productos un tratamiento más eficaz que el de HHP (Medina *et al*., 2009). El comportamiento diferencial de los principales patógenos frente al tratamiento por electrones acelerados ha sido establecido claramente por Aguirre *et al.* (2011) observándose que la fase de latencia y el tiempo de generación de los supervivientes al tratamiento por electrones acelerados de *S. aureus* y *L. monocytogenes* se incrementa significativamente. Los autores han demostrado que el lomo fresco o inyectado de cerdo envasado al vacío dobla su vida útil en condiciones de refrigeración, lo que permitiría su exportación a mercados muy alejados (García-Márquez *et al*., 2013).

También se han establecido las condiciones de tratamiento por electrones en ensaladas preparadas de V gama (Cambero *et al*., 2011), en salmón marinado (Montiel *et al*., 2013) o cómo puede retrasarse el fundido de los quesos envasados (Velasco *et al*., 2011).

El *plasma frio* puede considerarse también una tecnología de higienización de los alimentos basada en las radiaciones puesto que se sustenta en el principio de que al aportar energía a un gas (N_2, O_2, CO_2, He, Ne, Ar,..), o una mezcla de gases, su estructura intramolecular o intraatómica se desorganiza liberándose electrones libres e iones. Dicho de otra forma, el plasma es comparable a un gas ionizado formado por moléculas neutras, electrones e iones positivos y negativos. Cada gas se comporta de forma diferente frente a su ionización y por ende es distinto su efecto e interacción con el alimento. Cuando un gas es ionizado a la fase de plasma, retiene durante largo tiempo la energía que ha recibido y mantiene las especies generadas separadas entre sí; pero cuando estas finalmente recombinan se libera la energía en forma de luz visible y luz ultravioleta y se forman otras especies químicas altamente reactivas (Niemira, 2012), que interaccionan a su vez con los microorganismos contaminantes de la superficie de los alimentos produciéndoles daños celulares (Niemira, 2014).

Del mismo modo los *pulsos de luz de alta intensidad* (PL) son una tecnología no térmica de conservación de los alimentos que consiste en la aplicación de destellos de luz blanca de amplio espectro (200-1000 nm) y corta duración (10^{-3}-10^{2} ms). Su efecto antimicrobiano se debe principalmente al componente UV-C (200-290 nm) emitido en cada pulso consiguiéndose la parcial inactivación de los patógenos en la superficie de los alimentos RTE y por consiguiente ya envasados en polímeros plásticos de cómo máximo 40-60 µm de espesor. En el proyecto del

VII Programa Marco de la UE titulado NovelQ (www.novelq.org) se determinó el efecto de los PL en diferentes productos cárnicos, y en particular la reducción de entre 0,3 y 0,9 log cfu/cm^2 de los recuentos de *L. monocytogenes* en carpacho de vacuno; de entre 0,4 y 1,8 log cfu/cm^2 en productos cárnicos cocidos; y entre 0,9 y 1,8 log cfu/cm^2 en productos curados. Las dosis recomendadas en las que se minimizan indeseables alteraciones organolépticas fueron de 2,1 J/cm^2 para el carpacho de vacuno y de 8,4 J/cm^2 para jamón cocido, mientras que los productos curados se mostraron mucho más tolerantes a los PL permitiendo hasta 11,9 J/cm^2 sin modificación alguna (Hierro *et al.*, 2011 y 2012; Ganan *et al.*, 2013).

Tabla 2. Resultados de la aplicación de electrones acelerados (EA) en productos cárnicos RTE

Producto	a_w	Microorganismo	D (kGy)	Criterio del proceso	Vida útil	Ref.
Jamón cocido	0,92	*L. monocytogenes* ScottA	0,36	0,78 (UE); 2,00 (EEUU)	Aprox. duplicación (microbiología)	1, 2, 3
		L. monocytogenes Otras cepas	0,48	1,00 (UE); 2,67 (EEUU)		
		L. innocua	0,49	1,07 (UE); 2,73 (EEUU)		
		S. aureus	0,47	No crece <5 ºC (no tto*)		
		E. coli O157:H7	0,35	0,84		
Jamón cocido MAP (100% N_2)**	0,92	*L. monocytogenes* ScottA	0,45	0,98 (UE); 2,50 (EEUU)	Aprox. duplicación (microbiología)	4
		L. innocua	0,69			
Jamón curado	0,89	*L. monocytogenes* ScottA	0,42	no tto (UE); 1,00 (EEUU)	Microbiológicamente estable	5, 6
		L. innocua	0,47	no tto (UE); 1,12 (EEUU)		
		S. typhimurium	0,53	1,27		
		E. coli O157:H7	0,26	0,62		
Salchichón	0,88	*L. innocua*	0,47	no tto (UE); 1,12 (EEUU)	Microbiológicamente estable	7
		S. enteritidis	0,41	0,98		
		S. typhimurium	0,53	1,27		
Chorizo	0,82	*L. innocua*	0,53	no tto (UE); 1,27 (EEUU)	Microbiológicamente estable	7
		S. enteritidis	0,43	1,03		
		S. typhimurium	0,54	1,29		
Cecina	0,90	*L. monocytogenes* ScottA	0,49	no tto (UE); 1,17 (EEUU)	Microbiológicamente estable	5
		L. innocua	0,57	no tto (UE); 1,36 (EEUU)		
		S. typhimurium	0,52	1,24		
		E. coli O157:H7	0,25	0,60		
Atún ahumado	0,89	*L. monocytogenes*	0,43	0,50 (UE); 2,00 (EEUU)	Microbiológicamente estable	5
		L. innocua	1,67	0,86 (UE); 3,13 (EEUU)		
		S. typhimurium		1,67		

Fuente: Cambrero *et al.* (2012).

9. Tratamientos térmicos alternativo

¿A qué tecnologías térmicas nos referimos como alternativas a la pasteurización o esterilización por calor? Fundamentalmente a aquellas que se basan en aportar energía electromagnética para excitar las moléculas del alimento, mayoritariamente las del agua, provocando que estas liberen energía en forma de calor aumentando la temperatura del alimento y obteniéndose los mismos efectos sobre los microorganismos que en la pasteurización clásica por temperatura y convección. Nos referimos por tanto al calentamiento por microondas, óhmico y radiofrecuencias, más rápido y eficiente que el tradicional por transferencia de calor (baño maría, marmita, horno de vapor, horno de convección, etc.) y por consiguiente de menor impacto medioambiental y mayor calidad del producto al ser un tratamiento homogéneo y sin zonas de sobrecalentamiento y pardeamiento.

El calentamiento óhmico, también conocido como *electrocalentamiento* o *calentamiento Joule* o *electroconductivo*, consiste en hacer pasar una corriente eléctrica alterna a través del alimento líquido de alta viscosidad o con partículas de cierto tamaño (sopas y guisos), el cual actúa como una resistencia eléctrica, provocándose un casi instantáneo y uniforme calentamiento.

Las radiofrecuencias se utilizan mayoritariamente para atemperar, descongelar uniforme y rápidamente o secar los alimentos. Sin embargo las microondas se están utilizando fundamentalmente en la industria de panadería y bollería y más recientemente en los túneles de fabricación de pizzas refrigeradas. También algunas empresas de catering para la producción de platos preparados, y las de deshidratación parcial y congelación ultrarápida de fruta (Tabla 3). En realidad muchas multinacionales o grandes empresas como Kraft Foods, Unilever, Kellogg Co., Nestlé, Ocean Spray, Nuvi fruits, Reynolds, Campofrío o Campbell tienen patentes relacionadas sobre estas tecnologías pero se desconoce si las utilizan en sus plantas de producción.

Pese a sus aspectos netamente positivos y ventajosos, estas tecnologías no terminan de introducirse en la industria alimentaria más ivamente y probablemente es debido a que pese a que los ensayos a escala piloto son plenamente satisfactorios el escalado para producir unidades de producción a gran escala origina problemas de ingeniería y modificaciones en la modelización previa. En algunos casos el envasado no está bien adaptado a estas nuevas tecnologías y equipos. Y finalmente el precio de los equipos industriales aún no es suficientemente competitivo partiendo de la base que las industrias tienen todo su equipamiento y diseño industrial hecho en base a las líneas de producción que usan tecnologías clásicas. No obstante, cada vez son más las empresas fabricantes de equipos industriales, lo que sin duda indica que hay un mercado creciente para estas tecnologías (Tabla 4).

Tabla 3. Algunos ejemplos de empresas usuarioas de radiofrecuencias y microondas

• **El *atemperado* de bloques de carne y de pescado por radiofrecuencia (2.12MHz) y microondas (915 MHz)**
• Empresa Colombiana en Bogotá Microonda 915 MHz
• Martinez Lorientes, España. http://martinezloriente.com/fr/
• **El *secado/deshidratación* de frutas y vegetales, quesos y snacks por microondas al vacio (tecnología de la compañía EnWave)**
• Bonduelle Europa (vegetales procesados)
• Gray Lea Foods Co-operative. Canadá (derivados lácteos)
• Hormel Foods Co. EEUU (gama de productos NutraDRIED ™)
• Milne Fruit Products. EEUU (frutas y hortalizas)
• Napa Mountain Spice Co. EEUU (hojas de laurel orgánicas)
• Natural Nutrition Ltd. Chile (manzana, melocotón, uva y frutos rojos)
• Nutra Dried LLP. EEUU (*snakcs* de queso)
• **El *secado/desinfección* de fruta seca mediante radiofrecuencia / microondas**
• Riverland Almonds, Australia, http://www.riverland-almonds.com.au/)
• Growedirect, EEUU http://growerdirect.co/
• ***Posthorneado* de bollería industrial por radiofrecuencia**
• ***Horneado* de grano de café por microondas**
• ***Pasterización* de platos pre-cocinados con envases adaptado (con válvulas) para microondas**
• Gooh Company, Suecia, www.gooh.se
• Orkla Foods Noruega, http://www.toro.no
• Saizeriyhttp, Australia http://www.saizeriya.com.au/
• L'Assiete Bleue, Francia http://www.assiettebleue.fr/
• Delta Daily Food Canadá Inc. del Grupo Fleury Michon
• ***Cocción* de pan de molde**
• Pasquier SARL, http://www.pasquier.fr/) por microondas
• Grupo Bimbo México
• ***Pasterización* de pasta fresca (*fresh* semolina pasta) por radiofrecuencia**
• ***Pasteurización* de especias por microondas**
• ***Pasterización/esterilización* de productos líquidos/viscosos (mermeladas, puré de fruta, salsas, lácteos…) por microondas y /o radiofrecuencia**
• Pretto Gelato Arte Italiana, http://gelatopretto.it/
• Wrightfood, EEUU: http://wrightfoods.com/
• Andros, France; http://www.andros.fr/

Fuente: Picouet (2015).

Tabla 4. Principales fabricantes de equipos industriales de microondas y radiofrecuencias

Proveedores de tecnología		
Eodiss	España	http://www.eodiss.com/es/system/proyectos.html
C-Tech	Reino Unido	http://ctechinnovation.com
MicVac	Suecia	http://www.micvac.com/
Sairem	Francia	http://www.sairem.com/
Stalam	Italia	http://www.stalam.it/
Defreeze Corporation	EEUU	http://www.defreeze.com/
Microdry Incorporated	EEUU	http://www.microdry.com/
Puschner	Alemania	http://www.pueschner.com/
Staryfield	Reino Unido	http://www.strayfield.co.uk/
EnWave	EEUU	http://www.enwave.net/nutrarev.php
Cartigliano	Italia	http://www.pontano.it/test/cartigliano/

Fuente: Picouet (2015).

10. Evolución del envasado

Desde hace ya 20 años con el desarrollo de los polímeros plásticos multicapa termosellables y con propiedades barrera se ha generalizado en la industria alimentaria la cocción al vacio, y posteriormente el envasado al vacío y en atmosfera modificada combinándolo con líneas de envasado aséptico.

El desarrollo de la nanotecnología, los nanocompuestos y la nanoencapsulación, aplicada a los materiales de envase, así como el desarrollo de nuevos polímeros orgánicos como el PLA (ácido poliláctico) con propiedades semejantes a los materiales plásticos pero biocompostables, están abriendo nuevos horizontes a la industria alimentaria.

De esta forma se están desarrollando nuevos polímeros que incorporan en su matriz nanomateriales para mejorar las propiedades barrera a los gases, así como la resistencia a la temperatura y la humedad de los propios envases. Pero quizás lo más llamativo sea el desarrollo de los envases activos que incorporando nanomateriales interaccionan directamente con el alimento o la atmosfera del espacio de cabeza del envase aumentando la conservación o el mantenimiento de las propiedades del alimento. Así nanoparticulas de plata o sustancias antimicrobianas nanoencapsuladas incorporadas al polímero le dotan de propiedades conservadoras antimicrobianas.

11. La investigación en el ámbito de las tecnologías innovadoras

Recientemente, el 1 de mayo de 2015, se ha iniciado un nuevo proyecto financiado por el programa europeo Horizonte 2020 sobre la implantación industrial de tecnologías innovadoras para el procesado de los alimentos. «i3food. New treatments for better food, 2015-2018», tiene como objetivo implementar tres nuevas tecnologías en condiciones industriales intentando su máxima y rápida incorporación al mercado (http://i3food.eu).

Diez socios, entre empresas alimentarias y organismos de investigación de Alemania, Holanda y España, validarán la conservación por pulsos eléctricos de alta intensidad de campo (PEF-P) de productos alimentarios líquidos como los zumos de fruta o los batidos, la esterilización térmica por alta presión (HPTS) para alimentos listos para su consumo, y la extrusión de baja presión para alimentos fríos como los helados. El proyecto proporcionará sensores validados para el control en continuo del proceso, así como el desarrollo y evaluación de un sistema de análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC) para cada tecnología.

Referencias bibliográficas

Aguirre, J. S.; Rodríguez, M. R. y García de Fernando, G. D. (2011): «Effects of electron beam irradiation on variability of the number of survivors and on duration of lag phase of four food-borne organisms»; *Int. J. Food Microbiol. (*149); pp. 236-246.

Arroyo, G.; Sanz, P. D. y Préstamo, G. (1999): «Response to high pressure low-temperature treatment in vegetables; determination of survival rates of microbial populations using flow cytometry and detection of peroxidase activity using confocal microscopy»; *Journal of Applied Microbiology* (86); pp. 544-566.

Aymerich, T.; Jofre, A.; Garriga, M. y Hugas, M. (2005): «Inhibition of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* by natural antimicrobials and high hydrostatic pressure in sliced cooked ham»; *Journal of Food Protection* 68(1); pp. 173-177.

Bajovic, B.; Bolumar, T. y Heinz, V. (2012): «Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products»; *Meat Science* (92); pp. 280-289.

Barba, F. J.; Cortés, C.; Esteve, M. J. y Frigola, A. (2011): «Study of antioxidant capacity and quality parameters in a orange juice-milk beverage after high-pressure processing treatment»; *Food and Bioprocess Technology* 5(5); pp. 2222-2232.

Barbosa-Cánovas, G. V.; Góngora-Nieto, M. M.; Pothakamury, U. R. y Swanson, B. G. (1999): *Preservation of foods with pulsed electric fields*. Academic Press, San Diego, CA; pp. 1-171.

Benedito, J.; Cambero, M. I.; Ortuño, C.; Cabeza, M. C.; Ordóñez, J. A. y De la Hoz, L. (2011): «Modeling and optimization of sensory changes and shelf-life in vacuum-packaged cooked ham treated by E-beam irradiation»; *Rad. Phys. Chem.* (80); pp. 503-5013.

Black, E. P.; Setlow, P.; Hocking, A. D.; Stewart, C. M.; Kelly, A. L. y Hoover, D. G. (2007): «Response of spores to high-pressure processing»; *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (6); pp. 103-119.

Bover-Cid, S.; Belletti, N.; Garriga, M. y Aymerich, T. (2012): «Response surface methodology to investigate the effect of high pressure processing on *Salmonella* inactivation on dry-cured ham»; *Food Res. International* (45); pp. 1111-1117.

Cabeza, M. C.; De la Hoz, L.; Velasco, R.; Cambero, M. I. y Ordóñez, J. A. (2009): «Safety and quality of ready-to-eat dry fermented sausages subjected to E-beam radiation»; *Meat Science* (83); pp. 320-327.

Cambero, M. I.; Cabeza, C.; Ordóñez, J. A. y De la Hoz, L. (2011): «E-beam treatment guarantees the safety and improves the shelf-life of mayonnaise potato salad (MPS)»; *Foodborn. Path. Dis*. (8); pp. 221-229.

Cambero, M. I.; Garcís de Fernando, G. D. y Medina, M. (2012): «Uso de tecnologías emergentes para garantizar la seguridad alimentaria de la carne y sus derivados»; *Informe final del proyecto CARNISENUSA*. Capítulo VI.

Farkas, J. (1998): «Irradiation as a nmethod for decontaminating food. A review»; *International Journal of Food Microbiology* (44); pp. 189-204.

Fernández, M.; Manzano, S.; De la Hoz, L.; Ordóñez, J. A. y Hierro, E. (2009): «Pulsed light inactivation of *Listeria monocytogenes* through different plastic films»; *Foodborne Path. Dis*. (6); pp. 1265-1267.

Fulladosa, E.; Serra, X.; Gou, P. y Arnau, J. (2009): «Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry cured ham with reduced salt content»; *Meat Science* 82(2); pp. 213-218.

Fulladosa, E.; Sala, X.; Gou, P.; Garriga, M. y Arnau, J. (2012): «K-lactate and high pressure effects on the safety and quality of restructured hams»; *Meat Science* (91); pp. 56-61.

Ganan, M.; Hierro, E.; Hospital, X. F.; Barroso, E. y Fernández, M. (2013): «Use of pulsed light to increase the safety of ready-to-eat cured meat products»; *Food Control* (32); pp. 512-517.

García-Márquez, I.; Cambero, M. I.; Ordóñez, J. A. y Cabeza, M. C. (2013): «Shelf-life extension and sanitation of fresh pork loin by E-beam treatment»; *J. Food Prot*. (75); pp. 2179-2189.

García-Parra, J.; González-Cebrino, F.; Delgado, J.; Lozano, M.; Hernández, T. y Ramírez, R. (2011): «Effect of thermal and high pressure processing on the nutritional value and quality attributes of a nectarine purée with industrial origin during the refrigerated storage»; *Journal of Food Science* 76(4); pp. 618-625.

Garriga, M.; Aymerich, T.; Costa, S.; Monfort, J. M. y Hugas, M. (2002): «Bactericidal synergism through bacteriocins and high pressure in a meat model system during storage»; *Food Microbiology* 19(5); pp. 509-518.

Griffiths, M. y Walkling-Ribeiro, M. (2014): «Pulsed Electric Field processing of liquid foods and beverages»; *Emerging Technologies for Food Processing.* Elsevier Ltd. 2.º edición. ISBN 978012411479-1.

Hernando, A. (2012): Comunicación personal. Hyperbaric S.A.

Hereu, A.; Dalgaard, P.; Garriga, M.; Aymerich, T. y Bover-Cid, S. (2012a): «Modeling the high pressure inactivation kinetics of *Listeria monocytogenes* on RTE cooked meat products»; *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (16); pp. 305-315.

Hereu, A.; Dalgaard, P.; Garriga, M.; Aymerich, T. y Bover-Cid, S. (2012b): *Modeling the growth response of Listeria monocytogenes on RTE cooked meat products after high pressure processing*. 23rd International ICFMH Symposium. FoodMicro, Istanbul.

Herrero A. M.; Carmona, P.; Ordóñez, J. A.; De la Hoz, L. y Cambero M. I. (2009a): «Magnetic resonance imaging study of the electron-beam irradiated cold-smoked salmon»; *Food Chem*. (42); pp. 1362-1372.

Herrero, A. M.; Carmona, P.; Ordóñez, J. A.; De la Hoz, L. y Cambero, M. I. (2009b): «Raman spectroscopy studies of electron-beam irradiated cold-smoked salmon»; *Food Res. Int*. (42); pp. 216-220.

Hierro, E.; Barroso, E.; De la Hoz, L.; Ordóñez, J. A.; Manzano, S. y Fernández, M. (2011): «Efficacy of pulsed light for shelf-life extension and inactivation of *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat cooked meat products»; *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (12); pp. 275-281.

Hierro, E.; Ganan, M.; Barroso, E. y Fernández, M. (2012): «Pulsed light treatment for the inactivation of selected pathogens and the shelf-life extension of beef and tuna *carpaccio*»; *International Journal of Food Microbiology* (158); pp. 42-48.

Hugas, M.; Garriga, M. y Monfort, J. M. (2002): «New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology»; *Meat Science* (62); pp. 359-371.

Jofre, A.; Aymerich, T.; Grèbol, N. y Garriga, M. (2009): «Efficiency of high hydrostatic pressure at 600 MPa against food-borne microorganisms by challenge test of convenience meat products»; *LWT-Food Science and Technology* (42); pp. 924-928.

Keklik, N. M.; Demirci, A. y Puri, V. M. (2009): «Innactivation of *Listeria monocytogenes* on unpacked and vacuum-packaged chicken frankfurters using pulsed UV-light»; *Journal of Food Science* (74); pp. M431-M439.

Koutchma, T. N.; Forney, L. J. y Moraru, C. L. (2009): «UV processing effects on quality of foods»; en Koutchma, T. N.; Forney, L. J. y Moraru, C. L., eds.: *Ultraviolet light in food technology: Principles and applications*. CRC Press, New York, EEUU; pp.103-123.

Kovac, K.; Bouwknegt, M.; Díaz-Valcarce, M.; Raspor, P. y Hernández, M. (2012): «Evaluation of high hydrostatic pressure effect on human adenovirus using molecular methods and cell culture»; *International Journal of Food Microbiology* (157); pp. 368-374.

Lacroix, M. y Vigneault, C. (2007): «Irradiation treatment for increasing fruit and vegetable quality»; *Stewart Postharvest Review* 3(7); pp. 1,8.

Leistner, L. (1995): «Principles and applications of hurdle technology»; en Gould, G. W., ed.: *New Methods of Food Preservation*. Springer; pp. 1-21. ISBN 978-0-8342-1341-8.

Martín Belloso, O. (2015): ETSEA. Universidad de Lleida. Comunicación personal.

Medina, M.; Cabeza, M. C.; Bravo, D. A.; Cambero, I.; Montiel, R.; Ordóñez, J. A.; Núñez M. y Hoz, L. (2009): «A comparison between E-beam irradiation and high pressure treatment for cold-smoked salmon sanitation: microbiological aspects»; *Food Microbiol.* (26); pp. 224-227.

Montiel, R.; Cabeza, M. C.; Bravo, D.; Gaya, P.; Cambero, I.; Ordóñez, J. A.; Nuñez, M. y Medina, M. (2013): «A comparison between E-beam irradiation and high pressure treatment for cold-smoked salmon sanitation: colour, texture, safety and sensory characteristics»; *Food Bioprocess Technol*. (6); pp. 3177-3185.

Niemira, B. A. (2012): «Cold plasma decontamination of foods»; *Annual Review of Food Science and Technology* (3); pp. 125-142.

Niemira, B. A. (2014): «Cold plasma reduction of *Salmonella* and *Escherichia coli* 0157:H7 on almonds using ambient pressure gases»; *Journal of Food Science* (77); pp. 171-175.

Picouet, P. A. (2015): Comunicación personal.

Picouet, P. A.; Cofan-Carbó, S.; Vilaseca, H.; Ballbè, L. C. y Castells, P. (2011): «Stability of sous-vide cooked salmon loins processed by high pressure»; *Innovation Food Safety and Emerging Technologies* (12); pp. 26-31.

Rosypal, A. C.; Zajac, A. M.; Flick, G. J.; Bowman, D. D. y Lindsay, D. S. (2011): «High pressure processing treatment prevents embryonation of eggs of *Thrichuris vulpis* and *Ascaris suum* and induces delay in development of eggs»; *Veterinary Parasitology* (181); pp. 350-353.

Sobrino López, A. y Martín Belloso, O. (2010): «Review: potential of high-intensity pulsed electric field technology for milk processing»; *Food Engineering Reviews* 2(1); pp. 17-27.

Velasco, R.; Ordóñez, J. A.; Cabeza, M. C.; De la Hoz, L. y Cambero, M. I. (2011): «Use of the E-beam radiation to diminish the late blowing of cheese»; *Inter. Dairy J.* (21); pp. 493-500.