



**FACULTAD DE FARMACIA  
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**TÍTULO:**

**USO DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES  
EN LA REVALORIZACIÓN DE LOS  
SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA  
ALIMENTARIA**

Autor: Corina Begoña Mediavilla Pérez

D.N.I.: 71300935-S

Tutor: Inmaculada Mateos-Aparicio Cediel

Convocatoria: Febrero 2016

## **ABSTRACT**

The increasing food industry waste represents both an economic and environmental problem. That is why it has raised the idea of reuse them not only as fertilizer and animal feed but also for human consumption. The reuse of these products is not only an economical advantage, they are also sources of bioactive compounds that have a positive effect on health. They have become essential in a demanding and conscious healthy lifestyle market. This idea is not new, it has been carried out for many years with conventional technologies that are quite limited. The growing interest in this subject has led the food industry to search the use of new technologies that could be much more effective and efficient than conventional ones. This review is focused on two of these technologies, high hydrostatic pressure and pulsed electric fields and its application in food products.

Keywords: byproducts, bioactive compounds, high hydrostatic pressure, pulsed electric fields.

## **RESUMEN**

Los residuos producidos en la industria alimentaria son cada vez mayores, lo que ha convertido su gestión en un problema tanto a nivel económico como medioambiental. Por todo ello surgió la idea de su utilización en la alimentación humana y no solo como abono o pienso para animales. Además de los beneficios económicos de esta práctica hay que tener en cuenta que son fuentes de compuestos bioactivos, teniendo un efecto positivo sobre la salud. Se han convertido así en fundamentales para un mercado cada vez más exigente y concienciado con los hábitos de vida saludable.

Esta idea no es nueva sino que ha sido llevada a cabo durante muchos años con tecnologías convencionales limitadas. El creciente interés en el tema ha llevado a la industria a desarrollar y utilizar tecnologías emergentes que podrían resultar mucho más efectivas y rentables que las anteriores.

En esta revisión nos centraremos en dos de estas tecnologías, la alta presión hidrostática y los campos eléctricos pulsados, y su aplicación sobre los subproductos alimentarios.

Palabras clave: subproductos, compuestos bioactivos, alta presión hidrostática, campos eléctricos pulsados.

## INTRODUCCIÓN

Desde hace mucho tiempo se ha intentado minimizar y reducir la cantidad de desechos y residuos del procesado de los alimentos debido a los problemas que derivan de su tratamiento y eliminación en el medio ambiente. Sin embargo, hoy en día las demandas urgentes de sostenibilidad en los sectores alimentario y agrícola condujeron a la revalorización de estos subproductos como fuente prometedora de compuestos funcionales, debido a sus propiedades nutricionales o tecnológicas. (Galanakis, 2013; Schieber, Stintzing, Carle, 2001).

El hecho de que estas sustancias se eliminen en el proceso de producción como materiales indeseables los define como residuos en la mayoría de las legislaciones europeas. Sin embargo, no se tiene en cuenta su potencialidad de reutilización dentro de la cadena alimentaria. Por esto el término subproducto alimentario se utiliza cada vez más con el fin de concienciar que estos "residuos" son sustratos finales para la formación y desarrollo de productos de valor en el mercado que poseen actividades biológicas funcionales importantes, tales como antioxidantes, anticancerígenas, antihipertensivas, y anticolesterolemiantes. (Gustavsson et al., 2011; Roselló-Soto et al., 2015).

Para poder hacernos una idea de la relevancia que pueden llegar a tener estos subproductos tenemos que centrarnos en dos aspectos.

El primero de ellos es que según la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), aproximadamente un tercio de las partes comestibles de los alimentos producidos para el consumo humano se pierde o desperdicia a nivel mundial. Suponiendo aproximadamente 1,3 billones de toneladas al año. (Gustavsson et al., 2011). La Unión Europea enfoca la gestión de residuos en la "jerarquía de residuos", estableciendo el siguiente orden de prioridad: prevención, preparación para la reutilización, reciclado, recuperación y, como última opción, eliminación (que incluye el depósito en vertederos y la incineración sin recuperación de energía) (European Commission, 2016). En línea con esto, el séptimo Programa de Medio Ambiente fija los siguientes objetivos prioritarios de la política de residuos en la UE:

- Reducir la cantidad de residuos generados
- Maximizar el reciclaje y la reutilización

- Limitar la incineración de materiales no reciclables
- Eliminar el vertido de residuos no reciclables y no recuperables
- Garantizar la plena aplicación de los objetivos de la política de residuos en todos los Estados miembros

El segundo aspecto se basa en que los desechos alimentarios se componen de ingredientes complejos, que han sido aislados a partir de la materia original. (Galankis, 2012). Entre estos ingredientes cabe destacar los compuestos bioactivos naturales, que tienen potencial para el tratamiento y prevención de enfermedades tales como cáncer, diabetes, enfermedades neurodegenerativas, inflamatorias y cardiovasculares (Martins et al., 2011); cuya búsqueda es actualmente un tema clave en muchos laboratorios e industrias, porque interactúan eficazmente con proteínas, ADN y otras moléculas biológicas para producir un efecto deseado, y que podría ser aprovechado para el desarrollo y fabricación de alimentos funcionales. Estos son productos alimenticios que han tenido gran éxito en el mercado, debido al creciente interés de los consumidores por alimentos "saludables". Sin embargo, las limitaciones de suministro de fuentes naturales afectan al uso a gran escala de algunos de estos compuestos bioactivos que a menudo aparecen en pequeñas cantidades en la naturaleza y/o están presentes como conjugados o mezclas en extractos, los cuales requieren procedimientos de purificación y por tanto mucho tiempo en su obtención final (Ajikumar et al. 2008; Lam, 2007). Además, la diversidad estructural y la complejidad de estas moléculas hacen, muchas veces, su síntesis química no rentable (Lam, 2007).

Los residuos originados en la industria alimentaria se pueden dividir en dos grupos principales y siete subcategorías, como se muestra en la Tabla 1:

**Tabla 1:** Clasificación de los residuos de la industria alimentaria.

VEGETALES	ANIMALES
- Cereales	- Pescado y marisco
- Raíces y tubérculos	- Productos lácteos
- Oleaginosas y legumbres	- Productos cárnicos
- Frutas y verduras	

Los científicos se han centrado sobre todo en la recuperación de componentes funcionales derivados de la agricultura y el procesamiento de subproductos. Estas fuentes son abundantes, y son menos susceptibles al deterioro en comparación con los residuos producidos al final de la cadena de producción de alimentos. (Gustavsson et al., 2011; Galanakis, 2012).

La extracción, fraccionamiento y aislamiento de compuestos bioactivos a partir de residuos alimentarios por lo general sigue los principios de la química analítica. A partir de esto, se realizan una serie de modificaciones con el objetivo de:

- maximizar el rendimiento de los compuestos diana
- satisfacer las demandas del procesamiento industrial
- separar los ingredientes de alto valor añadido de impurezas y compuestos tóxicos
- evitar el deterioro y la pérdida de funcionalidad durante procesamiento
- asegurar la naturaleza de categoría alimenticia del producto final

Entre las numerosas metodologías que se encuentran en la literatura se pueden observar cinco etapas distintas de recuperación, aunque a veces se obvian o solapan pasos. Este procesamiento normalmente va desde el nivel macroscópico al nivel macromolecular y después a la extracción (o eliminación) de las micromoléculas específicas, para la purificación y la encapsulación en los destinatarios. (Oreopoulou & Tzia, 2007, Galanakis, 2012).



**Figura 1:** Metodologías convencionales de tratamiento de subproductos alimentarios

Todas estas tecnologías están bien establecidas y documentadas, y se consideran seguras al haber sido utilizadas durante décadas en la industria alimentaria. Entonces, ¿Por qué se está investigando su sustitución por tecnologías emergentes?

En primer lugar, las tecnologías convencionales, mencionadas anteriormente (Figura 1) tienen límites tecnológicos y de escalado que limitan su eficacia y su aplicación

comercial. Por ejemplo, la nanofiltración requiere un alto consumo de energía, mientras que la cromatografía tiene un alto costo, los procesos térmicos (concentración, secado por pulverización) a veces causan pérdida de funcionalidad debido al sobrecalentamiento de la matriz y la generación incontrolada de productos de Maillard (Galanakis et al, 2010; Mujumdar Andlaw, 2010; Galanakis, 2012), y finalmente, la producción de productos funcionales inestables (que son difíciles de conservar) que pueden surgir durante la encapsulación o emulsificación del producto final. La segunda razón es que los consumidores del siglo XXI tienen altas exigencias respecto a las características organolépticas de los alimentos y además solicitan que los ingredientes bioactivos que van a consumir con estos productos sean absorbidos rápidamente en su organismo (Galanakis, 2013).

**Tabla 2:** Objetivos de las tecnologías emergentes en el desarrollo de alimentos funcionales

Objetivos del uso de las tecnologías emergentes en el desarrollo de productos funcionales
✓ Acortar el tiempo de procesamiento
✓ Acelerar el calor y la transferencia de masa
✓ Controlar las reacciones de Maillard
✓ Mejorar de la calidad del producto
✓ Mejorar la funcionalidad
✓ Protección del medio ambiente
✓ Aumentar la vida útil

## OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son:

1. Abordar la importancia del acúmulo de subproductos procedentes de la industria alimentaria:
  - a. Poner en relieve la importancia de los subproductos como fuente de compuestos bioactivos y por tanto su impacto potencial sobre la salud
  - b. Establecer una relación entre subproductos como fuentes de sustancias bioactivas y la sostenibilidad medioambiental.

2. Estudiar las tecnologías que permitan la revalorización de los subproductos de la industria alimentaria:

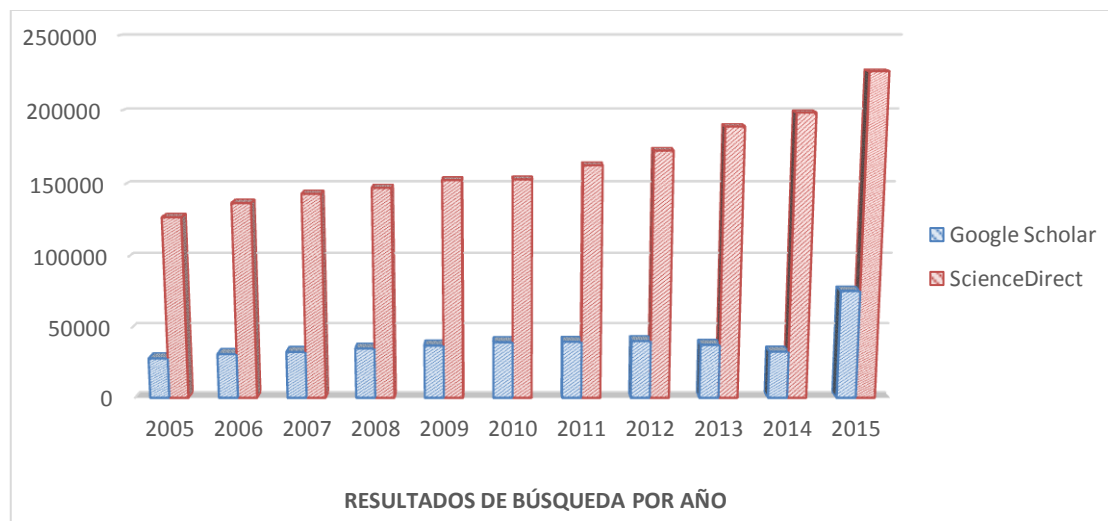
- a. Estudio de las ventajas e inconvenientes de dos tecnologías emergentes, la alta presión hidrostática y los campos eléctricos pulsados versus tecnologías convencionales.
- b. Plantear el potencial de las tecnologías emergentes mencionadas en la extracción de sustancias bioactivas de subproductos alimentarios.

## **METODOLOGÍA**

Este trabajo es una revisión bibliográfica, de manera que se ha seguido un procedimiento estructurado cuyo objetivo fue la localización y recuperación de información relevante sobre la utilización de tecnologías emergentes para la revalorización de los subproductos de la industria alimentaria.

Para ello se han utilizado distintas bases de datos: Pubmed, ScienceDirect, Google Books, y Google Scholar. El procedimiento consistió en la introducción de las palabras clave “by-products” (subproducto), “bioactive compounds” (compuestos bioactivos), “emerging technologies” (tecnologías emergentes) y otras, tanto solas como combinadas, en todas las bases de datos mencionadas. Así por ejemplo, la palabra clave “by-products” generó un total de 2.160.000 resultados, y 712.000 desde el año 2005 en Google Scholar y un total de 4.083.821 resultados, 1.844.565 desde 2005 en ScienceDirect. Se han utilizado los artículos con una antigüedad igual o menor a 10 años, ya que se trata de tecnologías que se aplican desde hace poco en la industria alimentaria y que están en continuo desarrollo y cambio. Sin embargo, hay referencias bibliográficas mucho anteriores, ya que hay aspectos descriptivos que se descubrieron hace tiempo.

La Figura 2 representa los resultados de búsqueda encontrados con la palabra clave “by-products” en las dos principales bases de datos que se utilizaron: Google Scholar y Science Direct. De manera que se puede observar el aumento en las publicaciones relacionadas con los subproductos alimentarios en 10 años poniendo de manifiesto la importancia que presenta el tema.



**Figura 2:** Resultados de la búsqueda con la palabra clave “by- product” en Google Scholar y ScienceDirect según año.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tradicionalmente, los residuos de alimentos se han considerado un problema tanto económico como medio-ambiental importante. Sin embargo, se ha reconocido que algunos residuos y subproductos pueden ser una fuente de nutrientes o sustancias bioactivas valiosas. Este potencial surge de las enormes cantidades de materiales alimenticios desechados, junto con las tecnologías de procesamiento mínimo existentes; las cuales proporcionan extracción suave, fraccionamiento y recuperación de ingredientes de alto valor añadido, con actividades biológicas funcionales importantes, tales como antioxidantes, anticancerígenos, antihipertensivos, y sustancias anticolesterolémicas (Roselló-Soto et al, 2015). La necesidad cada vez mayor en el uso de procesos de recuperación más eficientes ha conducido a un interés más profundo en los nuevos métodos no convencionales que pueden reducir el tiempo de extracción, temperatura del proceso y consumo de disolvente, contribuyendo así a una mayor eficacia de la extracción y a un menor consumo de energía en comparación con las metodologías convencionales de extracción (Chemat, Vian, Cravotto, 2012; Rombaut, Tixier, Bily, y Chemat, 2014). Estos procesos son lo que llamamos tecnologías emergentes, que están siendo actualmente investigadas y, en algunos casos ya aplicadas en la industria alimentaria, pero no obstante siguen siendo técnicas no extendidas debido al alto costo de capital inicial y a consideraciones de seguridad.

Las diez tecnologías emergentes más populares aplicadas en el amplio campo de la ciencia de los alimentos son:

1. Secado por radiofrecuencia
2. Electro-deshidratación osmótica
3. Tratamiento de plasma de baja temperatura
4. Alta presión hidrostática
5. Extracción asistida por ultrasonido
6. Ablación láser
7. Descarga eléctrica de alto voltaje
8. Campos eléctricos pulsados
9. Aglomeración pulsada de lecho fluido
10. Nanotecnología (Galanakis, 2013)

Este trabajo solo se centra en dos de ellas, ya que son dos tecnologías que ocupa una parte importante de la bibliografía y a priori parecen estar teniendo más éxito: la alta presión hidrotática y los campos eléctricos pulsados.

### **Alta presión hidrostática**

La aplicación de altas presiones hidrostáticas (High Hydrostatic Pressure; HHP) en la conservación de alimentos se considera una alternativa viable (económica y tecnológicamente) a los procesos térmicos, ya que ha sido identificada como un método para la inactivación de microorganismos (Patterson, 2005). Por lo tanto, esta tecnología podría minimizar o eliminar la necesidad de aditivos químicos para preservar la calidad sensorial y nutricional de los ingredientes frescos (Mújica-Paz et al., 2011).

Aparte del mencionado tratamiento de conservación esta tecnología lleva tiempo aplicándose para la extracción de compuestos con interés en la alimentación. La extracción por alta presión hidrostática (HHP Extraction; HHPE) se considera un método alternativo de extracción de ingredientes activos de materiales vegetales y ha demostrado ser más rápido y eficaz que otros métodos de extracción (Zhang, Junjie, y Changzhen, 2004). Este método opera bajo muy altas presiones que van desde 100 a 1000 MPa y ha sido reconocida como una tecnología respetuosa con el medio ambiente por la U.S. Food and Drug Administration, con amplias aplicaciones en las industrias farmacéutica, metalúrgica y alimentaria (Yang, Jiang, Shi, Chen, y Ashraf, 2011).

Recientemente, diferentes autores (Ahmed y Ramaswamy, 2006; Corrales et al, 2008; Junio, Deji Vosotros y Rui., 2011; Zhang et al., 2004) consideran la HHPE como una técnica que puede reducir el tiempo de procesamiento y proporcionar rendimientos de extracción más altos que otros métodos sin presentar efectos secundarios adversos en la actividad o estructura de los componentes bioactivos. Las tasas de transferencia de masa se mejoran durante el tratamiento de alta presión hidrostática, aumentando tanto la permeabilidad celular como la difusión de metabolitos secundarios tras los cambios en las transiciones de fase (Corrales et al., 2008).

HHPE también puede causar la desprotonación de los grupos cargados, y la ruptura de puentes salinos y enlaces hidrófobos, dando lugar a cambios conformacionales y desnaturalización de la proteína, que hacen que las membranas celulares sean menos selectivas. Haciendo así que los compuestos bioactivos sean más accesibles para la extracción (Jun et al., 2011). Este cambio significa que cuanto mayor sea la presión hidrostática, más disolvente puede entrar en la célula y por tanto más compuestos pueden penetrar la membrana celular, lo que puede derivar en un rendimiento de extracción superior. Se ha observado rápida permeabilidad bajo HHPE debido a la gran diferencia de presión entre el interior y el exterior de las membranas celulares (Zhang, Xi, Y Wang, 2005).

**Tabla 3.** Ejemplos de la aplicación de la alta presión hidrostática en diferentes subproductos y los compuestos bioactivos extraídos

Fuente	Compuestos bioactivos	Fuente bibliográfica
Pepitas de la uva	Antocianinas, catequinas, ácidos fenólicos	Ghafoor et al., 2009
Piel de la uva	Antocianinas	Corrales et al., 2008
Semillas de papaya	Flavonoides, glucósidos, lignanos, feniletanol, derivados, alcaloides...	Briones-Labarca et al., 2015
Cascara de limón	Pectinas	Naghshineh & Olsen; 2013

Si nos centramos en la aplicación de esta tecnología a subproductos vegetales procedentes de la industria alimentaria, encontramos una bibliografía más limitada (Tabla 3). Sin embargo, las propiedades de HHP podrían ser particularmente interesantes para recuperar sustancias bioactivas valiosas a partir de subproductos, ya

que los subproductos suelen estar sobreprocesados y otros tratamientos térmicos podrían causar una pérdida excesiva de su funcionalidad (Galanakis, 2013).

Existen diferentes trabajos sobre la aplicación de la alta presión a alimentos, así por ejemplo, Briones-Labarca et al. 2015 estudiaron el efecto de la alta presión sobre las semillas de papaya, cuyo aceite tiene el potencial de convertirse en fuente de ácido oleico. De manera que observaron que bajo el tratamiento por HHPE se podían emplear concentraciones moderadas de etanol a temperatura ambiente para lograr una alta eficacia en la extracción de antioxidantes en un corto período de tiempo. El procedimiento HHPE resultó ser más eficaz que los métodos de extracción tradicionales. De manera que estos autores pusieron de manifiesto que HHPE podría aplicarse para la extracción de compuestos bioactivos con diferentes polaridades, como flavonoides, glucósidos, lignanos, feniletanol derivados, alcaloides, ginsenosidos, etc., siendo un método alternativo al convencional. Además, HHPE presenta la ventaja de no llevar a cabo calentamiento ni aumento de la temperatura durante el tiempo de procesado, por lo que sería un método ideal para extraer componentes termosensibles.

Corrales et al. 2008 estudiaron el efecto de diferentes parámetros como la alta presión hidrostática (200, 400, 600 MPa), la concentración de etanol (20-100%), el tiempo (de 30-90 min) y la temperatura (de 20-70 °C) durante la extracción de antocianos a partir de la piel de la uva roja. Mateos-Aparicio et al (2010) mostraron como esta técnica en base a la presión hidrostática (200, 400 MPa), temperatura (30 y 60 °C) e hidratación previa del subproducto de okara (subproducto procedente de la extracción de la bebida de soja) favorecía la funcionalidad de este subproducto debido al aumento de la solubilidad de la fibra alimentaria. Uno de los últimos trabajos publicados sobre HHP y subproductos (Mateos-Aparicio et al. *in press*) explora la posibilidad de la combinación del efecto de HHP en presencia de enzimas de grado alimentario, obteniendo resultados muy prometedores.

Como ya se comentó, la HHP es una tecnología emergente que se utiliza normalmente con otros fines en la industria alimentaria como es el control microbiológico sobre los alimentos, es decir que se utiliza para incrementar la vida útil del producto manteniendo la calidad de los alimentos frescos, y también la detoxificación de los mismos tras el uso de pesticidas (Iizuka et al., 2013). Además, esta técnica es respetuosa con el medio ambiente, de manera que la industria alimentaria que usase esta tecnología tendría la

capacidad de estabilizar sus subproductos alimentarios, materiales muy perecederos, y obtener a partir de ellos sustancias bioactivas de interés.

### **Campos eléctricos pulsados**

La primera vez que se aplicó PEF (Pulsed Electric Fields, PEF) para el tratamiento de matrices biológicas fue hace unos 50 años, y se observó que inducía la ruptura eléctrica de las membranas celulares, lo que se conoce como electroporación (Neumann y Rosenheck, 1972; Stampfli, 1958; Zimmermann, Schulz, y Pilwat, 1973) y se utilizó para matar a los microorganismos (Hamilton & Sale, 1967; Venta y Hamilton, 1967). Más tarde se usaría para inducir inestabilidad mecánica, hidrodinámica, osmótica y viscoelástica (Pakhomov et al, 2010; Weaver & Chizmadzhev, 1996), en el desarrollo de otros procesos.

Los campos eléctricos pulsados consisten en un tratamiento eléctrico de poco tiempo (de varios nanosegundos a varios milisegundos) con pulso eléctrico de intensidad de campo de 100 a 300 V/cm hasta 20-80 kV/cm (Fincan y Dejmek, 2002; Koubaa et al, 2015.; Vorobiev y Lebovka, 2008). En los campos eléctricos elevados (N20 kV/cm), puede constituir una alternativa al tratamiento térmico tradicional para inactivar microorganismos patógenos y enzimas relacionadas, con la ventaja de retener o modificar mínimamente los atributos sensoriales, y nutricionales de los alimentos (Sánchez-Vega, Elez-Martínez, y Martín-Belloso, 2014). En los campos de baja intensidad, la membrana biológica está perforada eléctricamente y pierde su semipermeabilidad temporal o permanentemente (Barba, Grimi, y Vorobiev, 2014; Deng et al, 2014), lo que permite la recuperación selectiva de compuestos de alto valor añadido de diferentes matrices.

Como ya se ha comentado, los campos eléctricos pulsados pueden perforar la matriz de los subproductos agrícolas mediante la inducción de potencial eléctrico crítico transmembrana. Siguiendo este ejemplo, la recuperación de fenoles de la cáscara de la granada asistida por campos eléctricos pulsados proporcionó un rendimiento en la extracción de antioxidante similares a la extracción con ultrasonidos convencional, pero con un 50% de ahorro (Pan et al., 2012). De hecho, la aplicación del campos eléctricos pulsados con una entrada de energía de 10 KJ/Kg puede conducir a un 30-35% mayor rendimiento en la recuperación de monoglucósidos de antocianina del orujo de uva en

comparación con la extracción de líquido convencional (Töpfl, 2006). Asimismo, el consumo de energía correspondiente es menor en comparación con tratamientos mecánicos (20-40 kJ/kg), enzimáticos (de 60-100 kJ/kg) o de descarga eléctrica de alta tensión (80 kJ / kg) (Vorobiev y Lebovka, 2010; Boussetta et al., 2011).

**Tabla 4:** Ejemplos de la aplicación de los campos eléctricos pulsados en diferentes subproductos y los compuestos bioactivos que se han extraído.

Fuente	Compuestos bioactivos	Fuente bibliográfica
Tallos y hojas de colza	Polifenoles	Yu, Bals, Grimi, and Vorobiev (2015)
Piel de uva	Polifenoles	Takaki, Hatayama, Koide, and Kawamura (2011)
Orujo de uva y cascara	Polifenoles	Khalil (2011)
Semillas de uva	Polifenoles	Boussetta, Lesaint, and Vorobiev (2013)
Hojas de puré de alfalfa	Vitaminas A, D, E, K, C, B1, B2, B6, B12, niacina, ácido pantoténico...	Gachovska, Ngadi, and Raghvan (2006)
Piel de naranja	Luteína	Luengo, Álvarez, and Raso (2013)
Pasta de sésamo	Polifenoles	Sarkis et al. (2015)
Semillas de papaya	Compuestos fenólicos e isocianatos	Parniakov, Rosello-Soto, Barba, Grimi, Lebovka and Vorobiev (2015)
Cáscaras de papaya	Fenoles y distintas proteínas	Parniakov, Barba, Grimi, Lebovka, and Vorobiev (2014)
Cáscaras de mango	Distintas sustancias antioxidantes	Parniakov, Barba, Grimi, Lebovka, and Vorobiev (2015)
Peladuras de patata	Alcaloides esteroideos	Hossain, Aguiló-Aguayo, Lyng, Brunton, and Rai (2015)
Cascos de linaza	Polifenoles	Boussetta, Soichi, Lanoiselle, and Vorobiev (2014)
Residuos de la levadura de cerveza	Trehalosa	Jin et al. (2011)

Hossain et al. 2015 también estudiaron los efectos del pretratamiento de las pieles de patata con PEF y con luces pulsadas, para ver como mejoraba el rendimiento del tratamiento posterior por extracción sólido-líquida. Se trató las pieles con una baja intensidad de campo aumentando el rendimiento de alcaloides esteroideos totales un 99,9% respecto a las cáscaras sin tratar, mientras que las intensidades de campo mayores producían una reducción de los porcentajes de recuperación de alcaloides esteroideos (glicoalcaloides y alcaloides de aglicona).

Por lo tanto, los campos eléctricos pulsados son una herramienta prometedora para diferentes aplicaciones en la industria alimentaria, porque pueden mejorar la funcionalidad, capacidad de extracción y recuperación de compuestos valiosos nutricionalmente así como la biodisponibilidad de micronutrientes y componentes en una gran diversidad de alimentos. Además, se ha demostrado su potencial para reducir el procesamiento de alimentos contaminantes y pesticidas. Lo que abre nuevas puertas como la mejora de la deshidratación osmótica, extracción de disolvente por difusión, prensado, así como los procesos de secado y congelación (Barba et al., 2015)

### **Ventajas e inconvenientes de estas dos tecnologías emergentes**

**Tabla 5:** Ventajas de la alta presión hidrostática y de los campos eléctricos pulsados respecto a los métodos convencionales de revalorización de subproductos alimentarios

<b>Principales ventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la transferencia de masa</li> <li>• Mejora de rendimiento de la extracción</li> <li>• Disminución de tiempo de procesamiento</li> <li>• Disminución de la intensidad de los parámetros de extracción convencionales</li> <li>• Reducción de los compuestos de degradación sensible al calor (por ejemplo, sabores, proteínas)</li> <li>• Facilitación de extracto purificado (es decir, la reducción de la molienda)</li> <li>• Reducción de los costes de energía y el impacto ambiental</li> </ul>
<b>Inconvenientes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversiones iniciales muy elevadas</li> <li>• No están tan bien documentadas.</li> <li>• Aún en investigación por cuestiones de seguridad.</li> </ul>

## CONCLUSIÓN

La alta presión hidrostática es una tecnología poco empleada en la revalorización de subproductos porque su utilización se ha centrado más en el control microbiológico de alimentos. Aunque entre la bibliografía revisada se han encontrado trabajos que muestran que es una tecnología muy prometedora en la extracción de compuestos bioactivos con distintas polaridades, al causar la desprotonación de grupos cargados, ruptura de puentes salinos y enlaces hidrófobos, dando lugar a cambios conformacionales y desnaturalización de la proteína, haciendo las membranas celulares menos selectivas y facilitando la extracción. Además, no tiene efectos negativos sobre la actividad o la estructura de los componentes bioactivos, siendo por tanto útil en la extracción de compuestos termolábiles.

Por su parte, los campos eléctricos pulsados han sido más ampliamente estudiados en comparación con la alta presión hidrostática y se han visto grandes ventajas en cuanto al rendimiento de extracción y la disminución de costes. Además se ha observado que se puede aplicar en más de una etapa de recuperación de la línea de producción siendo así más acusada la reducción de los costes.

La extracción de compuestos bioactivos tiene gran relevancia ya que con ellos podemos obtener alimentos funcionales, aditivos alimentarios y/o complementos alimenticios. Esas sustancias bioactivas pueden desarrollar efectos positivos en la salud, tales como mejorar el estado de salud y bienestar y/o prevenir y complementar tratamientos en diversas patologías como la enfermedad cardiovascular, la diabetes, el cáncer etc. La búsqueda por tanto de fuentes de sustancias bioactivas se hace necesaria y los subproductos procedentes de la industria alimentaria son una fuente prometedora de estas. Además la industria alimentaria genera una gran cantidad de residuos, lo que supone un gran impacto medioambiental, y su eliminación supone un coste adicional porque en muchos casos puede resultar complicada, debido a la alta demanda bioquímica que implica este proceso.

Tanto la alta presión hidrostática como los campos eléctricos pulsados son tecnologías emergentes con un porvenir prometedor en la revalorización de los subproductos de la industria alimentaria.

## BIBLIOGRAFÍA

Ajikumar P, Tyo K, Carlsen S, Mucha O, Phon T, Stephanopoulos G. Terpenoids: opportunities for biosynthesis of natural product drugs using engineered microorganisms. *Mol Pharm.* 2008; 5(2):167–90.

Barba, FJ, Grimi N, Vorobiev E. New approaches for the use of nonconventional cell disruption technologies to extract potential food additives and nutraceuticals from microalgae. *Food Engineering Reviews.* 2014; 7(1): 45–62.

Barbosa-Canovas GV, Altunakar B. Pulsed electric fields processing of foods: An overview. In J. Raso, V. Heinz (Eds.), *Pulsed electric field technology for food industry: Fundamentals and applications (153–194)*. New York: Springer. 2006.

Bazhal M, Vorobiev E. Electrical treatment of apple cossettes for intensifying juice pressing. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2000; 80: 1668–1674

Ben Ammar, J., Lanoiselle, J. -L., Lebovka, N. I., Van Hecke, E., & Vorobiev, E. Impact of a pulsed electric field on damage of plant tissues: Effects of cell size and tissue electrical conductivity. *Journal of Food Science.* 2011; 76(1): 90–97.

Boussetta N, Lesaint O, Vorobiev E. A study of mechanisms involved during the extraction of polyphenols from grape seeds by pulsed electrical discharges. *Innovative Food Science & Emerging Technologies.* 2013; 19: 124–132.

Boussetta N, Vorobiev E, Deloison, V., Pochez, F, Falcimaigne-Cordin, A., Lanoiselle JL. Valorisation of grape pomace by the extraction of phenolic antioxidants: application of high voltage electrical discharges. *Food Chem.* 2011; 128: 364–370.

Boussetta, N., Soichi, E., Lanoiselle, J. -L., & Vorobiev, E. Valorization of oilseed residues: Extraction of polyphenols from flaxseed hulls by pulsed electric fields. *Industrial Crops and Products.* 2014; 52(0): 347–353.

Boussetta N, Soichi E, Lanoiselle JL, Vorobiev E. Valorization of oilseed residues: Extraction of polyphenols from flaxseed hulls by pulsed electric fields. *Industrial Crops and Products.* 2014; 52(0): 347–353.

Briones-Labarca. V, Plaza-Morales M, Claudia Giovagnoli-Vicuna, Jamett F. High hydrostatic pressure and ultrasound extractions of antioxidant compounds, sulforaphane and fatty acids from Chilean papaya (*Vasconcellea pubescens*) seeds: Effects of extraction conditions and methods. *Food Science and Technology.* 2015; 60: 525-534

Chemat F, Vian, M. A., Cravotto G. Green extraction of natural products: concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences*. 2012; 13: 8615-8627.

Corrales, M., Toepfl, S., Butz, P., Knorr, D., & Tauscher, B. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: a comparison. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2008; 9(1): 85-91

Deng Q, Zinoviadou, KG, Galanakis, CM, Orlien, V, Grimi N, Vorobiev E, Lebovka N, et al. The effects of conventional and non-conventional processing on glucosinolates and its derived forms, isothiocyanates: Extraction, degradation, and applications. *Food Engineering Reviews*. 2014; 7(3): 357–381.

Ec.europa.eu. Waste - Environment - European Commission [Internet]. 2016 [cited 21 January 2016]. Available from: <http://ec.europa.eu/environment/waste/>

Gachovska TK, Ngadi MO, Raghvan, GSV. Pulsed electric field assisted juice extraction from alfalfa. *Canadian Biosystems Engineering*. 2006; 48: 3.33–3.37.

Galanakis, C.M. Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*. 2012; 26: 68-87

Galanakis C.M. Emerging technologies for the production of nutraceuticals from agricultural by-products: A viewpoint of opportunities and challenges. *Food and bioproducts processing*. 2013; 91: 575–579

Galanakis CM, Tornberg, E., Gekas, V. Clarification of high-added value products from olive mill wastewater. *J. FoodEng.* 2010; 99: 190–197.

Ghafoor K, Al-Juhaimi. J, Yong Hee C. Effects of grape (*Vitis Labrusca B.*) peel and seed extracts on phenolics, antioxidants and anthocyanins in grape juice. *Pak. J. Bot.* 2011; 43(3): 1581-1586

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste. Extend, causes and prevention*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/ags/publications/GFL\\_web.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/GFL_web.pdf)

Hossain, MB, Aguiló-Aguayo I, Lyng, JG, Brunton, N. P., Rai DK. Effect of pulsed electric field and pulsed light pre-treatment on the extraction of steroidal alkaloids from potato peels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2015; 29: 9–14.

Iizuka T, Maeda S, Shimizu A. Removal of pesticide residue in cherry tomato by hydrostatic pressure. *Journal of Food Engineering*. 2013; 116(4): 796–800.

Jin, Y., Wang, M., Lin, S., Guo, Y., Liu, J., & Yin, Y.. *African Journal of Biotechnology*. 2011. 10(82), 19144–19152.

Jun, X., Deji, S., Ye, L., & Rui, Z. (2011). Comparison of in vitro antioxidant activities and bioactive components of green tea extracts

Khalil J. Pulsed electric field (p.e.f) and pectinase for the extraction of polyphenols from grape pomace and peel. Lincoln: Thesis for the Degree of Master of Science, Faculty of The Graduate College at the University of Nebraska. 2011

Lam K. New aspects of natural products in drug discovery. *Trends Microbiol.* 2007; 15(6):279–89.

Luengo E, Álvarez I, Raso J. Improving the pressing extraction of polyphenols of orange peel by pulsed electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2013; 17: 79–84.

Mateos-Aparicio I, Mateos-Peinado C, Rupérez P. High hydrostatic pressure improves the functionality of dietary fibre in okara by-product from soybean. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2010;11 (3): 445–450.

Martins S, Mussatto SI, G. Martínez-Avila, J. Montañez-Saenz, C.N. Aguilar, J.A. Teixeira, Bioactive phenolic compounds: production and extraction by solid-state fermentation. A review, *Biotechnol. Adv.* 29 (2011) 365–373.

Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., Tonello Samson, C., Welti-Chanes, J., Torres, J., 2011. High-pressure processing technologies for the pasteurization and sterilization of foods. *Food Bioprocess Technol.* 4, 969–985.

Mujumdar AS, Law CL, *Drying technology: trends and applications in postharvest processing.* *Food Bioprocess Technol.* 2010; 3: 843–852.

Neumann E, Rosenheck K. Permeability changes induced by electric impulses in vesicular membranes. *Journal of Membrane Biology.* 1972; 10(1): 279–290

Naghshineh M, Olsen K, Georgiou CA. Sustainable production of pectin from lime peel by high hydrostatic pressure treatment. *Food Chemistry.* 2010.;136 (2):472–478. Available from: 10.1016/j.foodchem.2012.08.036

Oreopoulou V, Tzia C. Utilization of plant by-products for the recovery of proteins, dietary fibers, antioxidants, and colorants. In V. Oreopoulou, & W. Russ (Eds.), *Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry* (pp. 209- 232). New York: Springer Science&Business Media. (2007).

Pakhomov, A. G., Miklavčič, D., & Markov, M. S. (2010). *Advanced electroporation techniques in biology and medicine.* Boca Raton: CRC Press.

Pan Z., Qu, W., Ma, H., Atungulu, G.G., McHugh, T.H. Continuous and pulsed ultrasound-assisted extractions of antioxidants from pomegranate peel. *Ultrason. Sonochem.* 2012; 19:365–372.

Parniakov, O., Rosello-Soto, E., Barba, F. J., Grimi, N., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2015). New approaches for the effective valorization of papaya seeds: Extraction of proteins, phenolic compounds, carbohydrates, and isothiocyanates assisted by pulsed electric energy. *Food Research International*.

Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.031> (in press).

Parniako, O, Barba, FJ, Grimi, N, Lebovka N, Vorobiev E. Impact of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges on extraction of high-added value compounds from papaya peels. *Food Research International*. 2014; 65: 337–343.

Parniakov O, Barba F.J, Grimi N, Lebovka N, Vorobiev E. Extraction assisted by pulsed electric energy as a potential tool for green and sustainable recovery of nutritionally valuable compounds from mango peels. *Food Chemistry*. 2015; 192: 842–848.

Patterson, M.F., 2005. Microbiology of pressure-treated foods: a review. *J. Appl. Microbiol.* 98, 1400–1409.

Pérez-López E, Mateos-Aparicio I, Rupérez P. High hydrostatic pressure improves the functionality of dietary fibre in okara by-product from soybean [Internet]. *Sciencedirect.com*. 2015 [cited 21 January 2016]. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856410000214>

Raso, J., & Heinz, V. (Eds.). (2006). *Pulsed electric field technology for the food industry. Fundamentals and applications*. New York: Springer.

Rombaut N, Tixier AS, Bily, A, Chemat, F. Green extraction processes of natural products as tools for biorefinery. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2014; 8(4): 530-544.

Roselló-Soto E., Mohamed Koubaa, Amine Moubarik, Rita P. Lopes, Jorge A. Saraiva, Nadia Boussetta, Nabil Grimi, Francisco J. Barba. Emerging opportunities for the effective valorization of wastes and by-products generated during olive oil production process: Nonconventional methods for the recovery of high-added value compounds. *Trends in Food Science & Technology*. 2015; 45: 296-310

Sánchez-Vega, R, Elez-Martínez P, Martín-Belloso O. Influence of high intensity pulsed electric field processing parameters on antioxidant compounds of broccoli juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2014; 29: 70–77.

Sarkis, JR, Boussetta N, Blouet C, Tessaro IC, Marczak LDF, Vorobiev E. Effect of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges on polyphenol and protein extraction from sesame cake. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2015; 29: 170–177.

Schieber A, Stintzing FC, Carle R. By-products of plant food processing as a source of functional compounds e recent developments. *Trends in Food Science & Technology*. 2001; 12:401-413.

Takaki, K., Hatayama, H., Koide, S., Kawamura, Y.. Improvement of polyphenol extraction from grape skin by pulse electric field. *Pulsed power conference (PPC), 2011 IEEE* (pp. 1262–1265).

Töpfl, S., 2006. Pulsed electric fields (PEF) for permeabilization of cell membranes in food and bioprocessing – applications, process and equipment design and cost analysis. PhD Thesis, Berlin: Berlin University of Technology.

Vorobiev E., Lebovka N. Enhanced extraction from solid foods and biosuspensions by pulsed electrical energy. *FoodEng. Rev.* 2010; 2: 95–108.

Vorobiev, E., & Lebovka, N. I. (Eds.). (2008). *Electrotechnologies for extraction from food plants and biomaterials*. New York: Springer

Weaver, JC, Chizmadzhev YA. Theory of electroporation: A review. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. 1996; 41: 135–160.

Yang B, Jiang Y, Shi J, Chen, F., & Ashraf, M. Extraction and pharmacological properties of bioactive compounds from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit d A review. *Food Research International*. 2011; 44: 1837-1842.

Yu X, Bals O, Grimi N, Vorobiev E. A new way for the oil plant biomass valorization: Polyphenols and proteins extraction from rapeseed stems and leaves assisted by pulsed electric fields. *Industrial Crops and Products*. 2015; 74: 309–318.

Zhang S, Junjie Z, Changzhen W. Novel high pressure extraction technology. *International Journal Pharmaceutics*. 2004; 278: 471-474.

Zhang S, Xi J, Wang, CZ. Effect of high hydrostatic pressure on extraction of flavonoids in propolis. *Food Science and Technology International*. 2005; 11: 213-216.