



**FACULTAD DE FARMACIA  
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO**  
**TÍTULO: ULTRAVIOLETA-C PARA LA  
REVALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS  
AGROALIMENTARIOS**

Autor: Cristina Bodas Folguera

Fecha: 26 de junio de 2020

Tutor: Inmaculada Mateos-Aparicio Cediel

## **ÍNDICE**

<b>ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
<b>3 MÉTODOS</b>	<b>9</b>
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>9</b>
4.1 UV-C: Aplicación tradicional y nuevas perspectivas.	10
4.2 ¿Qué puede aportar la UV-C en el campo de la revalorización?	11
4.3 ¿Qué se ha hecho hasta hoy? Aplicación a subproductos	13
<b>5 CONCLUSIONES</b>	<b>14</b>
<b>6 BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>15</b>

## **ABSTRACT**

The actual food production system is less and less sustainable: 1/3 of the food produced is wasted every year. With this situation is essential to take actions at this level to avoid the economic and social impact attached.

A hopeful measure is the use of technologies to revalue by-products of the food industry and give them a new usable life. Among them, ultraviolet C radiation known to be a conservation technique and with a widespread use for sterilizing, mainly surfaces in the food industry, could have potential in the revaluation of agri-food by-products. Furthermore, the recent approval of foods such as bread and milk with improved properties after UV-C irradiation corroborates both its possible benefits and its safety. Ultraviolet-C irradiations seems to be able to generate changes in irradiated products as a stress response to it. Thereby, it produces the activation of defense mechanisms which are traduce in an increase synthesis of antioxidant product: especially flavonoids and fenols. However, its effect on other food components, such as dietary fiber, has not been studied.

Therefore, ultraviolet C irradiation stands up as a technology with a huge potential to be applied to by-products revaluation field: functional ingredients production, fabrication of dietary supplements, proprietary medicines and even cosmetic products.

Key words: food by-products, revaluation, ultraviolet-C irradiation

## **RESUMEN**

El actual sistema de producción de alimentos es cada vez menos sostenible: 1/3 de la comida producida se desperdicia cada año. Ante esta situación resulta imprescindible tomar medidas a este nivel para evitar el impacto económico, medioambiental y social que conlleva.

Una medida que se muestra como prometedora es el uso de tecnologías para la revalorización de los subproductos de la industria alimentaria para dotarles de una nueva vida útil. Entre ellas, la radiación ultravioleta C conocida por ser una técnica de conservación y con un uso muy extendido para esterilizar, fundamentalmente las superficies en la industria alimentaria, podría tener potencial en la revalorización de subproductos agroalimentarios. Además, la reciente aprobación de alimentos como el pan y la leche con propiedades mejoradas tras la irradiación UV-C corrobora tanto sus posibles beneficios como su seguridad. La radiación ultravioleta-C demuestra ser capaz de producir cambios en los productos irradiados en respuesta al estrés que esta produce, de manera que activa mecanismos de defensa que pueden generar en un aumento de la síntesis de compuestos antioxidantes: fundamentalmente flavonoides y fenoles. Sin embargo, su efecto sobre otros componentes funcionales del alimento, como la fibra alimentaria, no está estudiado.

De esta manera, la radiación ultravioleta C se posiciona como una tecnología con gran potencial para la aplicación en el campo de la revalorización de subproductos para la obtención de ingredientes funcionales, fabricación de complementos alimenticios, especialidades farmacéuticas e incluso productos cosméticos.

Palabras clave: subproductos alimentarios, revalorización, radiación ultravioleta-C

# 1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático y la degradación medioambiental suponen una amenaza para Europa y todo el mundo. Con el objetivo de superar estos retos, la Comisión Europea ha planteado un “Green Deal europeo” como una estrategia para conseguir una Unión Europea económicamente sostenible (1). En este proyecto, destaca la iniciativa de creación de un plan de Economía Circular. La economía circular se define como un nuevo sistema económico y social en el que prima el aprovechamiento de recursos y la reducción de las materias primas. Así, se convierte en una alternativa al modelo de extracción, producción, consumo y eliminación: el modelo económico lineal (2). Debido a que todos los procesos de fabricación implican un coste ambiental, la economía circular reclama la optimización de los materiales y residuos, alargando su vida útil.

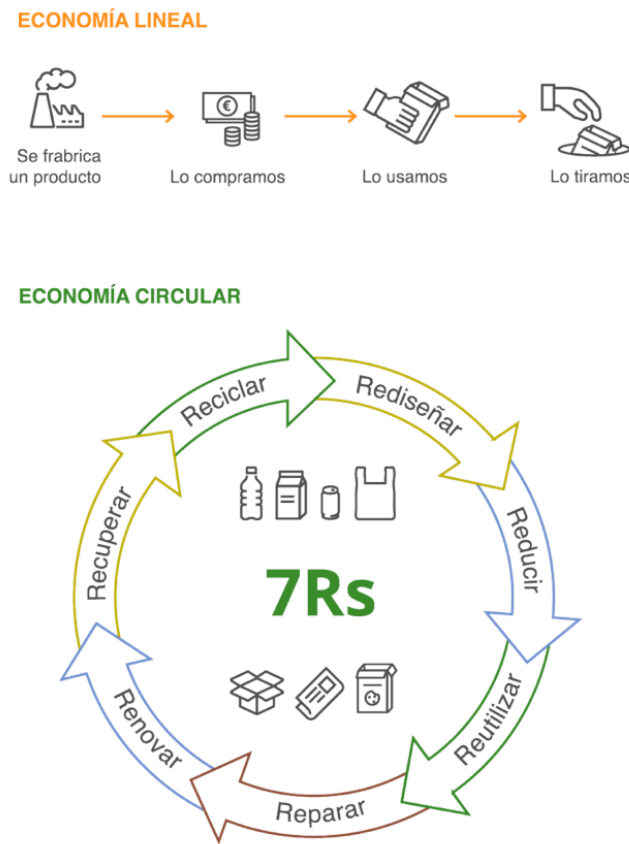


Imagen 1. Economía lineal frente a economía circular

De este modo, y ligada a esta Economía Circular, la Comisión Europea plantea la bioeconomía como aquella alternativa a la economía que emplea fuentes renovables para producir comida, materiales y energía (3).

En esta búsqueda de sostenibilidad preocupa especialmente el modelo actual de producción de alimentos. Es inevitable asumir que a largo plazo es muy poco sostenible: 1/3 de la comida producida para consumo humano (=1,3 billones de toneladas) es desperdiciada cada año en todo el mundo. En la Unión Europea se traduce en 173 kg de desechos por persona y año, y 170 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas. A pesar de estos altísimos niveles de residuos alimentarios, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

(FAO) estima que 871,2 millones de personas en todo el mundo se encuentra en situación de subalimentación.

La misma FAO informa que los desperdicios alimentarios suponen una huella de carbono del 8% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero emitidas por los humanos. De manera que el desperdicio de alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria no solo es un problema desde el punto de vista de los recursos, si no un factor contribuyente al cambio climático por su gran impacto medioambiental (4). Todo esto, sumado al hecho de que existe una población de casi 8 billones de personas, el establecimiento de un sistema de producción de alimentos sostenible no solo es deseable, es una necesidad.

Se estima que las cadenas de servicio de industrias agroalimentarias (producción, procesado, transporte y sistemas de consumo) son responsables del 25% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, de la pérdida de un 60% de la biodiversidad terrestre y un 33% de suelo dañado. Además, añadir la sobreexplotación de un 20% de los recursos acuíferos y del 90% de las especies marinas comerciales. Por si fuera poco, el 70% del agua dulce se emplea para la producción de alimento y a lo largo de la cadena se genera un 32% de residuos alimentarios cada año (5).

Ante esta situación, es esencial la implantación de medidas que regulen una situación tan injusta y económicamente desfavorable para todas las partes implicadas.

En diciembre de 2015, fue cuando finalmente la Comisión Europea adoptó este Plan de Acción para la Economía circular, con el objetivo de desarrollar una economía competente, eficiente con los recursos y neutral con las emisiones de CO<sub>2</sub>. Este plan incluye entre otros aspectos una regulación general de alimentos, directivas en el marco de residuos y otras iniciativas como la plataforma de pérdidas de alimentos y desperdicios de alimentos (6). Consta de 54 acciones que terminaron de implementarse el 2019 (7).

Entre estas 54 acciones, se enumeran las siguientes en materia de desperdicio alimentario:

1. Desarrollo de metodología común y indicadores para medir el gasto de alimentos

2. Plataforma de partes interesadas para examinar el cumplimiento de objetivos, compartir buenas practicas y evaluar el progreso.

3. Clarificar leyes europeas relacionadas con los residuos, alimentos y piensos para facilitar la donacion de alimentos y utilizacion de subproductos para alimento animal.

4. Explorar opciones para un uso mas efectivo y una mejor comprension del etiquetado en alimentos

Además, cabe destacar otra acción con respecto a la gestión de residuos (6):

Se requerirán nuevas medidas para que los estados miembros reduzcan la generación de residuos alimenticios en todos los estadios de la cadena de suministro de alimentos, así como monitorizar e informar de los niveles de residuos alimentarios.

Entre las numerosas medidas que se están empleando para confrontar el desperdicio de alimento, en el grafico podemos observar que quince de ellas están enfocadas en la prevención de generación de residuos alimentarios (8).



Imagen 2. Descripción de las acciones tomadas para la prevención del desperdicio de alimentos por la Comisión Europea. Adaptado de: (8).

En esta situación de repercusión global, la búsqueda de una nueva vida útil para los residuos agroalimentarios representa una estrategia que aúna todas las premisas y requerimientos del plan de Economía Circular de la Comisión Europea:

1. Proporciona una fuente de recursos inagotable.
2. Es ecológicamente sostenible
3. El coste para la obtención de estos residuos es mínimo.
4. Permite un uso más eficiente de los alimentos
5. Potencial estrategia para lograr una mejor distribución de los recursos alimentarios.

Una vez que somos conscientes de la necesidad de tomar medidas para confrontar tanto desperdicio alimentario, es cuando podemos pasar de hablar de residuo: “Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo o una operación”

Sin embargo, se entiende como subproducto:

“En cualquier proceso industrial, producto que se obtiene además del principal y que suele ser de menor valor que este”.

Estos subproductos son especialmente interesantes, ya que abren la posibilidad de una nueva vida útil y así incorporarse al ciclo propuesto por la Economía Circular.

<b>Subproductos de origen animal</b>	- Subproductos comestibles
	- Sebos y derivados
	- Cueros y pieles
	- Cola y gelatina
<b>Subproductos de origen vegetal</b>	- Carne comestible obtenida de huesos
	- Tripas naturales
	- Aprovechamiento de la sangre
	- Subproductos avícolas
	- Harina de pescado
	- Aceites de pescado
	- Ensilado de pescado
- Industria láctea	
- Industria oleícola	
- Industria vitivinícola	
- Industria azucarera	
- Industria de los cereales	
- Industria de los zumos	
- Industria hortícola	

Tabla 1. Clasificación de subproductos según origen

Una de las herramientas adoptadas para hacer frente a esta oleada de desperdicios consiste en la aplicación de recursos tecnológicos que van desde el bioprocesado hasta el uso de procedimientos químicos y/o físicos para la potencial revalorización de esos subproductos de la industria alimentaria. En este trabajo, nos centraremos en aquellos derivados de la industria agroalimentaria, es decir, en los subproductos de origen vegetal.

De este modo, este gran impacto del gasto de alimentos a nivel mundial ha favorecido una aceleración en el desarrollo de tecnologías emergentes aplicadas al campo de la revalorización de subproductos.

Existen diferentes enfoques para llevar a cabo esta revalorización. El bioprocesado por su parte, consiste en el empleo de organismos vivos para llevar a cabo un proceso, en este caso industrial. Estas tecnologías han sido empleadas durante mucho tiempo, con el uso de enzimas para procesos tan variados como la clarificación de zumos y la derivatización de

azúcares. Por ello, esta técnica tiene un gran potencial para el tratamiento de residuos orgánicos, desde residuos de la industria agroalimentaria, hasta partes descartadas y subproductos de la fruta (9).

También existen métodos químicos, que emplean disolventes orgánicos para la extracción de los componentes del producto, si bien su utilización esta en retroceso, como consecuencia de la aparición de otros métodos más eficaces y respetuosos con el medio ambiente.

Ejemplos de estas tecnologías emergentes son la extracción con fluidos supercríticos, extracción asistida por ultrasonidos o extracción con microondas. La extracción con fluidos supercríticos ha supuesto una revolución ya que presenta numerosas ventajas frente a la extracción con solventes químicos tradicionales: no es toxico, es reutilizable y fácilmente renovable. Otra técnica es la extracción asistida por ultrasonidos que permite la difusión de contenidos celulares sin provocar degradación térmica en el alimento (10). Del mismo modo, la extracción con microondas ha ganado importancia en la extracción de productos naturales como aceites esenciales, pectinas, pigmentos, fenoles y otros compuestos orgánicos.

Además, frente a estas técnicas, aparecen otras con menor recorrido, pero con resultados esperanzadores. Por ejemplo, las altas presiones hidrostáticas. Es una técnica que ha demostrado ser capaz de inactivar diferentes tipos de microorganismos alargando la vida útil y que además ha demostrado capacidad para extraer compuestos fenólicos de las cebollas; carotenoides y taninos de caquis y pimientos rojos; y antioxidantes y almidón de manzanas y algarroba. Es por tanto una técnica prometedora para la extracción de compuestos interesantes a partir de subproductos agroalimentarios.

Finalmente, la radiación ultravioleta C es comúnmente usada para la descontaminación microbiana de productos alimenticios y el alargamiento de su vida útil (11). Los nuevos trabajos, alientan hacia un uso más extendido de sus propiedades con aplicaciones que podrían ser de gran utilidad en el campo de la revalorización.

## **2 OBJETIVOS**

Los objetivos que comprende este trabajo se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Exponer los retos a los que se enfrenta la sociedad en materia de sostenibilidad alimentaria.
  - o Concienciar sobre la importancia de tomar medidas a este nivel
  - o Elucidar por qué la revalorización de los residuos agroalimentarios es una fuente de recursos actualmente infrautilizados.
  
- Informar sobre los posibles recursos tecnológicos emergentes disponibles para revalorizar los subproductos agroalimentarios
  - o Ahondar en la radiación UV-C como un recurso tecnológico emergente de especial interés
  - o Explicar los mecanismos a nivel molecular por los que la radiación UV-C permite la revalorización de los subproductos.



### 3 MÉTODOS

Este trabajo se realizó mediante la búsqueda, contraste y análisis de material bibliográfico. Las bases de datos utilizadas fueron principalmente Scholar Google, PubMed y ScienceDirect. La búsqueda se realizó fundamentalmente con el uso de las palabras clave “Food by-products”, “UV-C by-products” y “Food waste revalorization”.

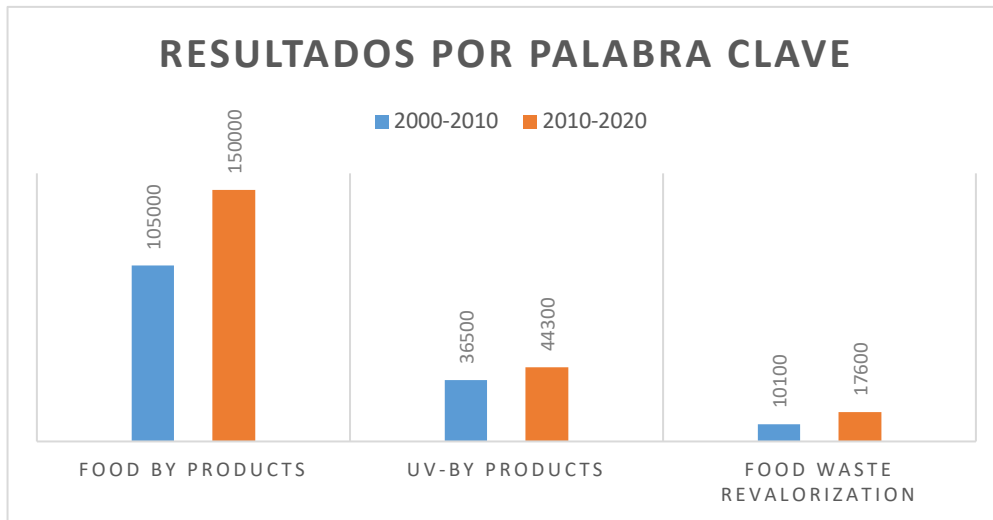


Imagen 3. Número de resultados por periodo y palabra clave.

El notable incremento de artículos disponibles entre los distintos periodos (de 2000 a 2010 y de 2010 a 2020) pone de manifiesto el interés creciente por la comunidad científica en este ámbito.

### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este camino hacia la implantación de una economía circular, los subproductos agroalimentarios se han posicionado como una fuente de recursos interesantísima. Esto, junto con el gran impacto del gasto de alimentos a nivel mundial ha favorecido una aceleración en el desarrollo de tecnologías emergentes aplicadas al campo de la revalorización de subproductos.

Una de las tecnologías más novedosas en este campo es la radiación ultravioleta C, que, si bien ha sido ampliamente estudiada como agente esterilizante, los trabajos más recientes parecen además atribuirle cualidades como técnica de revalorización.

#### 4.1 UV-C: Aplicación tradicional y nuevas perspectivas.

Para las ondas del espectro ultravioleta (10-400nm), la absorción de energía ocurre en estructuras que pueden sufrir reacciones de oxidación, por ejemplo, un doble enlace activado reacciona con una molécula de oxígeno formando un radical peróxido inestable, alterando la membrana celular del microorganismo. Además, también es capaz de causar dímeros de timina en el material genético bacteriano, y la ruptura de estructuras celulares por el estrés térmico. Así la radiación UV ha resultado ser eficaz para la inactivación de bacterias (tanto células vegetativas como esporas), protozoos y virus en productos farmacéuticos, dispositivos médicos, empaquetados, superficies, agua de bebida y productos alimenticios, como la pimienta molida y la harina de trigo (11).

Dentro del espectro de la radiación ultravioleta, los rayos con una longitud de onda entre 100 y 280 nm son los denominados ultravioleta C (UV-C). Estos rayos UV-C de onda corta reducen drásticamente la carga microbiana en superficies y líquidos, a diferencia de ondas UV más largas, como el tipo A (>320nm), que tiene cualidades bactericidas limitadas y precisa de agentes fotosensibles como las furanocumarinas para que difundan a las células antes de comenzar la irradiación (12).

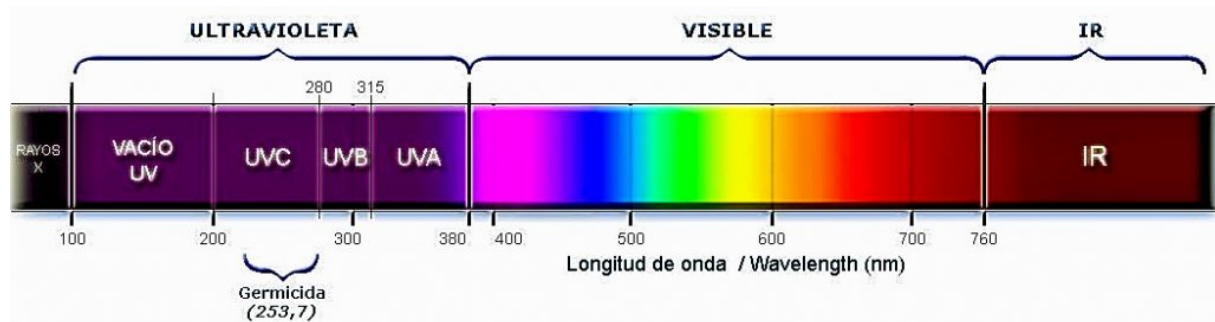


Imagen 4. Radiación ultravioleta dentro del espectro electromagnético y longitud de onda con capacidad germicida. Fuente: <https://www.logicclean.es/la-desinfeccion-esterilizacion-luz-ultravioleta/>

El tratamiento de productos agroalimentarios con luz UV-C ha sido, por tanto, ampliamente estudiado con fines de conservación y aumento de la vida útil.

Se observó una reducción en la presencia de microorganismos mesófilos y psicrófilos tras la aplicación de UV-C a hojas de espinaca recién cortadas que aumentaron su vida útil (13). También resultó útil en el mantenimiento de la firmeza de fresas recolectadas y reduciendo su contaminación por hongos post-cosecha (14). Se demostró una reducción significativa en las alteraciones por refrigeración y similar disminución de la presencia de hongos en melocotones (*Prunus persiva cv Jefferson*) tratados con UV-C frente al control, atribuible a un aumento de poliaminas (15). La aplicación de UV-C en melón cortado antes de empaquetar dio lugar a la reducción de dos unidades logarítmicas en el recuento tanto de todas las especies viables como de Enterobacterias en concreto. El tratamiento no afectó al color o firmeza del producto, pero mejoró su sabor (16). Similares efectos se han demostrado en la pera blanca china (*Pyrus bretschneideri*) (17), lechuga (*Lactuca sativa*) (18).

Además de los ejemplos nombrados, se ha aplicado también en alimentos líquidos con cierta turbidez: autores señalan como permite la inactivación de *E. Coli* y *L. brevis* en la sidra de

manzana (19). En otros ensayos se evaluaron los atributos de calidad tras el tratamiento de la horchata con UV-C, inactivando eficazmente los principales microorganismos contaminantes y aumentando significativamente la vida útil (20).

Como vemos, la eficacia de la radiación UV-C para la desinfección y el aumento de la vida útil ha sido muy estudiada. Estos datos aportan evidencia sólida y suficiente como para considerarla una tecnología segura, eficaz y cada vez más aplicada en el campo de la tecnología alimentaria. Y esto no es más que la base para la ampliación del espectro de posibles aplicaciones.

#### **4.2 ¿Qué puede aportar la UV-C en el campo de la revalorización?**

Estos resultados tan positivos han propiciado un aumento en la curiosidad sobre los efectos de la radiación UV-C en la composición del alimento. De hecho, existen ya algunos alimentos comercializados cuya composición se ha visto mejorada tras la irradiación de con UV-C.

Es el caso de la leche de vaca tratada con UV-C tras la pasteurización con el objetivo inicial de aumentar el tiempo de validez del producto. El tratamiento con UV-C resultó en un aumento de la concentración de vitamina D3, gracias a la conversión de 7-dehidrocolesterol a vitamina D3 mediado por la radiación UV-C (21). Tras su evaluación por el panel de la EFSA se concluyó que no existen evidencias que puedan alarmar sobre problemas de seguridad en comparación con la leche sin tratar y que es por tanto un alimento seguro y que podría aportar beneficios al consumidor.

Similar es el caso del pan tratado con UV tras el horneado, pero con el objetivo de convertir el ergosterol, metabolito presente como consecuencia de la fermentación, a vitamina D2 o ergocalciferol. Del mismo modo que ocurría en el caso de la leche, la EFSA determinó que no existen problemas de seguridad en el consumo de este pan, ni que presente ningún tipo de desventaja frente al pan sin tratar, pudiendo aportar beneficios derivados del incremento en los niveles de vitamina D2 (22).

Frente a estos dos ejemplos ya aprobados por la Unión Europea, existen muchos otros ejemplos en fase de estudio y con resultados alentadores.

En mango se observó un aumento en la capacidad antioxidante. Se evaluó el efecto de la radiación UV-C en cortes de mango fresco antes de su almacenamiento en refrigeración mediante los métodos para determinar capacidad antioxidante ORAC y DPPH. Tras 10 min de irradiación se produjo un aumento de fenoles y flavonoides, y por tanto un incremento de la capacidad antioxidante de los cortes de mango fresco (23). En otro trabajo realizado en frutas tropicales, se estudiaron los cambios en contenido de fenoles, flavonoides y vitamina C en cortes de piña, plátano y guayaba tras irradiarlos con UV-C. Los métodos usados fueron FRAP y DPPH. El contenido total de fenoles y flavonoides se incrementó en guayaba y plátano. En la piña, el aumento de fenoles fue insignificante, pero sí se observó un aumento significativo en el contenido de fenoles. En los tres tratamientos disminuyó la cantidad de vitamina C (24).

Siguiendo la línea de compuestos antioxidantes, los niveles de flavonoides en frambuesas también se vieron incrementados tras su iluminación con luz UV-C. Además, aumentó, aunque en menor medida, el contenido en fenoles y antocianinas. Entre las técnicas empleadas para la determinación están el ORAC, OH-HOSC, DPPH y análisis de los flavonoides por HPLC (25). Similar fue el efecto de la radiación UV-C en el zumo de granada (26). Tras el tratamiento, se demostró que el tratamiento con UV-C conservaba mejor las propiedades antioxidantes que cualquier método térmico.

En otro trabajo, se trataron uvas con radiación UV-C con el objetivo de aumentar su contenido en compuestos antioxidantes para así aportar un valor añadido al consumidor. Los resultados destacan que la conservación en frío y la radiación UV-C mejoraban el contenido en antioxidantes en las uvas, con un aumento en los niveles de piceido y quercetina, dos tipos de compuestos fenólicos. Además, los niveles de peonidina y cianidina se triplicaron después del tratamiento UV-C y 24 h de almacenamiento (27).

Si bien en estos trabajos no se esclarecen los mecanismos implicados, podría estar relacionado con una respuesta al estrés oxidativo. En papaya, se demostró como la radiación UV-C derivaba en un aumento de la capacidad antioxidante, aumentando en contenido en fenoles y en actividad enzimática antioxidante (superóxido dismutasa, catalasa y peroxidasa) como una respuesta defensiva al estrés oxidativo inducido por la radiación (28). Estos resultados concuerdan con otro trabajo donde se demostró que la radiación UV-C en pimiento (*Capsicum annuum* L) aumentaba la firmeza del producto, relacionado con una disminución en la actividad de las enzimas encargadas de la degradación de la pared celular. Además, se ha asociado el tratamiento con UV-C con la prevención de la disfunción de la membrana celular (29). Por otro lado, también se obtuvieron diferentes valores de actividad enzimática en catalasa (CAT), superóxidos dismutasa (SOD), guaiacol peroxidasa (G-POD) y ascórbico peroxidasa (AsA-POD). La enzima CAT en muestras tratadas aumentó hasta los 9 días de almacenamiento y posteriormente disminuyó hasta alcanzar niveles del control. De manera similar, la actividad SOD alcanzó su máximo a los 6 días. La actividad G-POD alcanza su máximo más rápido en la muestra tratada que en el control (3 días frente a 6) y la actividad de la Asa-POD tan solo se vio muy ligeramente incrementada, sin diferencias significativas respecto al control (29).

La mejora del producto final como consecuencia de una activación de los mecanismos de defensa ha podido observarse también en trabajos en plátano. Se observó un incremento de las actividades de las enzimas peroxidasa y polifenol oxidasa, así como la acumulación de lignina y compuestos fenólicos. Además. Se comprobó con microscopia de transmisión de electrones que la radiación UV-C retardaba las pérdidas de compartimentos celulares y desintegraciones de la fracción de fibrillas en la pared celular. Así mismo, el tratamiento con UV-C posterior a la inoculación de la muestra con hongos, produjo un aumento de células con alto contenido en fenoles, que podrían ser responsables de la acción antimicrobiana. En este estudio también se observó como la irradiación UV-C fomentaba la lignificación y la formación de matriz heterogénea en las uniones de la pared celular, dificultando así la penetración de microorganismos y consolidando esa función antimicrobiana (30).

Datos muy similares encontramos en tomates, donde se comparó el efecto entre tratamiento con luz pulsada, tratamiento con radiación UV-C y muestra sin tratar. Los resultados mostraron que el contenido de licopeno, carotenoides totales, compuestos fenólicos y

actividad antioxidante aumento hasta 6,2 veces con respecto a la muestra sin tratar. Asimismo, se demostró que la irradiación UV-C parece ser ligeramente más efectiva que el tratamiento con luz pulsada (31). En otro estudio en tomates, el tratamiento con UV-C incremento el contenido en licopeno (carotenoide principal del tomate) en un 14% en comparación con las muestras sin tratar. Sin embargo, el contenido en beta-caroteno disminuyó. La radiación UV-C también tuvo un efecto positivo en los compuestos fenólicos totales, especialmente en los niveles de ácido clorogénico y ferúlico (32). En este caso, entre los mecanismos posiblemente implicados se encuentra la alteración de la pared celular. La irradiación UV-C en tomate muestra una disminución en la actividad de enzimas implicadas en la degradación de la pared celular (poligalacturonasa, pectin-metil esterasa, celulasa, xilanasa, beta-D-galactosidasa y proteasa) y por lo tanto retrasando el proceso de maduración (33).

A pesar de las diferencias entre los trabajos mencionados, se puede obtener una premisa común. El mecanismo por el cual la irradiación UV ejerce estos efectos beneficiosos parece estar vinculado a procesos de “hórmesis” entendiendo hórmesis como “Estimulación por dosis bajas de cualquier agente potencialmente dañino”. Así la luz UV-C ha demostrado provocar una serie de respuestas químicas produciendo un amplio rango de compuestos, desde enzimas antifúngicas a compuestos con beneficios para el consumo humano (34).

El proceso por el cual la luz UV provoca aumentos en la capacidad antioxidante se debe a que actúa como un agente abiótico iniciador de mecanismos de resistencia. Así, actúa como un mecanismo estresor que provoca una rápida respuesta en el producto, aumentando la síntesis de compuestos como fenoles, flavonoides y fitoalexinas (35). Estos compuestos actúan como metabolitos secundarios de defensa, e incluso con actividad antimicrobiana y su presencia es deseable ya que permite aumentar la vida útil de producto y aportando beneficios a la salud del consumidor (36).

#### **4.3 ¿Qué se ha hecho hasta hoy? Aplicación a subproductos**

Como hemos desglosado, el tratamiento con luz UV-C tiene la capacidad de aportar notables beneficios. Es por ello, por lo que se ha empezado a aplicar en la revalorización de esos subproductos procedentes de la industria alimentaria y que de otra manera serían descartados como residuos. Así, trabajos más recientes han enfocado los beneficios derivados del uso de la radiación UV-C a subproductos agroalimentarios.

Por ejemplo, se aplicó radiación UV-C a los subproductos derivados del procesamiento industrial de piña. El compuesto mayoritario detectado en el subproducto fue fundamentalmente el betacaroteno (superior en corteza que en núcleo). En el núcleo, destacó la presencia de luteína y alfa-caroteno. Los resultados proporcionan evidencia de que tanto la corteza como la parte central son una fuente importante de compuestos con actividad antioxidante que pueden ser empleados en la industria farmacéutica, cosmética o alimentaria y que la radiación UV-C demostró ser un tratamiento que puede añadir valor nutricional a los subproductos industriales de la piña (37).

En otro trabajo se compararon las diferencias entre los floretes de brócoli almacenados en refrigeración con los tallos y las hojas que se trataron con UV-C. La radiación UV aumentó el contenido fenólico total en hasta un 97% para las hojas y en hasta un 120% para los tallos. En cuanto a la capacidad antioxidante total, se produjo un aumento del 75% para las hojas

y hasta del 420% para los tallos (38). Los compuestos que se incrementan son fundamentalmente flucorafanina y glucobrasicina, cuyos isotiocianatos (sulforafano y indol-3-carbinol) han sido ampliamente estudiado por sus efectos detoxificantes en mamíferos y su actividad anticancerígena (39).

El efecto de la radiación UV-C también está siendo estudiado en el subproducto de manzana procedente de la industria del zumo y la sidra. La radiación UV-C podría tener un potencial efecto sobre la pared celular permitiendo la solubilización de la fibra alimentaria. Esta fibra soluble es especialmente interesante, puesto que tiene efecto prebiótico al ser fermentada por las bacterias intestinales. Si bien aun no existen resultados concluyentes, es destacable puesto que en la literatura no hay trabajos enfocados a los efectos de la radiación UV-C sobre la fibra alimentaria. La confirmación de estas teorías podría aumentar aún más las potenciales aplicaciones de esta tecnología, hasta ahora más centradas en capacidad antioxidante (40).

## **5 CONCLUSIONES**

La revalorización de subproductos agroalimentarios parece ser un campo con gran potencial y en el que queda un gran camino por recorrer. Las técnicas emergentes empleadas para ello resultan muy prometedoras por ser coste efectivas y respetuosas con el medio ambiente. De entre ellas, la radiación ultravioleta-C ha demostrado ser eficaz en la descontaminación microbiana, y en la revisión realizada en este TFG, se ha visto su potencial para aumentar el contenido en antioxidantes de la muestra irradiada.

Este fenómeno es atribuido en literatura a la activación de mecanismos de defensa en respuesta al estrés inducido por la radiación ultravioleta C. Esto se traduce en un aumento de la actividad de enzimas con capacidad antioxidantes (destacablemente catalasa, superóxido dismutasa y peroxidasa) y en la síntesis de compuestos antioxidantes. Este fenómeno, denominado “hórmesis” por algunos autores, resulta muy interesante enfocado a la revalorización de subproductos de la industria agroalimentaria: la irradiación de ciertos subproductos podría dar lugar a la síntesis de compuestos con interés para la misma, tales como fundamentalmente flavonoides y fenoles. Estos podrían ser reincorporados a la cadena de producción como ingredientes funcionales para enriquecer alimentos, fabricación de complementos alimenticios e incluso adición a productos cosméticos. Además, trabajos más recientes apuntan que la radiación UV-C podría provocar también la solubilización de la fibra alimentaria, lo que ampliaría el espectro de aplicaciones tras la revalorización: alimentos enriquecidos con fibra, productos dietéticos o también complementos alimenticios.

De este modo se evitaría el desperdicio de los inicialmente desechos, reincorporándolos de nuevo a la cadena de producción. Además, permitiría satisfacer las demandas de consumidores cada vez más preocupados por su salud y que buscan productos con valor añadido. Por ello, a pesar de que los estudios en el campo de la revalorización con ultravioleta C son escasos, sí ha demostrado un gran potencial, por lo que futuros estudios relacionados con su aplicación deben ser implementados.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

1. A European Green Deal | European Commission [Internet]. [cited 2020 May 14]. Available from: <https://ec.europa.eu/info/node/123797>
2. La economía circular en España | Ecoembes [Internet]. [cited 2020 Jun 9]. Available from: <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/envases-y-proceso-reciclaje/la-economia-circular-en-espana>
3. Bioeconomy policy | Bioeconomy - Research & Innovation - European Commission [Internet]. [cited 2020 Jun 9]. Available from: <https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/index.cfm?pg=policy>
4. Food waste: the problem in the EU in numbers [infographic] | News | European Parliament [Internet]. [cited 2020 Apr 21]. Available from: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20170505STO73528/food-waste-the-problem-in-the-eu-in-numbers-infographic>
5. The Interaction of Food Industry and Environment [Internet]. Elsevier; 2020 [cited 2020 Apr 21]. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/C20180004582>
6. EUR-Lex - 52018DC0029 - EN - EUR-Lex [Internet]. [cited 2020 Apr 21]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM:2018:29:FIN>
7. New Circular Economy Strategy - Environment - European Commission [Internet]. [cited 2020 Apr 21]. Available from: [https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm)
8. Caldeira C, de Laurentiis V, Sala S. Collection and evaluation of food waste prevention actions.
9. Chandrasekaran M, Bahkali AH. Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology - Review. Vol. 20, Saudi Journal of Biological Sciences. Elsevier; 2013. p. 105–20.
10. Arshadi M, Attard TM, Lukasik RM, Brncic M, da Costa Lopes AM, Finell M, et al. Pre-treatment and extraction techniques for recovery of added value compounds from wastes throughout the agri-food chain. Vol. 18, Green Chemistry. Royal Society of Chemistry; 2016. p. 6160–204.
11. Fine F, Gervais P. Efficiency of pulsed UV light for microbial decontamination of food powders. Journal of Food Protection. 2004;67(4):787–92.

12. Bintsis T, Litopoulou-Tzanetaki E, Robinson RK. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2000 May 1;80(6):637–45.
13. Artés-Hernández F, Escalona VH, Robles PA, Martínez-Hernández GB, Artés F. Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [Internet]. 2009 Feb 1 [cited 2020 Apr 21];89(3):414–21. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.3460>
14. Pan J, Vicente AR, Martínez GA, Chaves AR, Civello PM. Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [Internet]. 2004 Nov 1 [cited 2020 Apr 21];84(14):1831–8. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.1894>
15. Gonzalez-Aguilar G, Wang CY, Buta GJ. UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [Internet]. 2004 Apr 15 [cited 2020 Apr 21];84(5):415–22. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.1675>
16. Manzocco L, da Pieve S, Maifreni M. Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2011 Jan 1;12(1):13–7.
17. Li J, Zhang Q, Cui Y, Yan J, Cao J, Zhao Y, et al. Use of UV-C treatment to inhibit the microbial growth and maintain the quality of yali pear. *Journal of Food Science*. 2010 Sep;75(7).
18. Allende A, Artés F. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed “Lollo Rosso” lettuce. *Food Research International*. 2003 Aug 1;36(7):739–46.
19. Franz CMAP, Specht I, Cho GS, Graef V, Stahl MR. UV-C-inactivation of microorganisms in naturally cloudy apple juice using novel inactivation equipment based on Dean vortex technology. *Food Control*. 2009 Dec 1;20(12):1103–7.
20. Corrales M, de Souza PM, Stahl MR, Fernández A. Effects of the decontamination of a fresh tiger nuts’ milk beverage (horchata) with short wave ultraviolet treatments (UV-C) on quality attributes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2012 Jan 1;13(JANUARY):163–8.



21. Safety of UV-treated milk as a novel food pursuant to Regulation (EC) No 258/97. EFSA Journal [Internet]. 2016 Jan 23 [cited 2020 Jun 9];14(1). Available from: <http://doi.wiley.com/10.2903/j.efsa.2016.4370>
22. Scientific Opinion on the safety of UV-treated bread as a novel food EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. EFSA Journal [Internet]. 2015 Jul 1 [cited 2020 Jun 9];13(7). Available from: <http://doi.wiley.com/10.2903/j.efsa.2015.4148>
23. González-Aguilar GA, Villegas-Ochoa MA, Martínez-Téllez MA, Gardea AA, Ayala-Zavala JF. Improving Antioxidant Capacity of Fresh-Cut Mangoes Treated with UV-C. Journal of Food Science [Internet]. 2007 Apr 1 [cited 2020 Apr 21];72(3):S197–202. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1750-3841.2007.00295.x>
24. Alothman M, Bhat R, Karim AA. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2009 Oct;10(4):512–6.
25. Wang CY, Chen CT, Wang SY. Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C. Food Chemistry. 2009 Dec 1;117(3):426–31.
26. Pala ÇU, Toklucu AK. Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. Journal of Food Composition and Analysis. 2011 Sep;24(6):790–5.
27. Crupi P, Pichierri A, Basile T, Antonacci D. Postharvest stilbenes and flavonoids enrichment of table grape cv Redglobe (*Vitis vinifera* L.) as affected by interactive UV-C exposure and storage conditions. Food Chemistry. 2013;141(2):802–8.
28. Rivera-Pastrana DM, Gardea AA, Yahia EM, Martínez-Téllez MA, González-Aguilar GA. Effect of UV-C irradiation and low temperature storage on bioactive compounds, antioxidant enzymes and radical scavenging activity of papaya fruit. Journal of Food Science and Technology. 2014 Dec 3;51(12):3821–9.
29. Surassawadee Promyou. Effect of ultraviolet-C (UV-C) illumination on postharvest quality and bioactive compounds in yellow bell pepper fruit (*Capsicum annuum* L.) during storage. AFRICAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESESEARCH. 2012 Aug 24;7(28).
30. Mohamed NTS, Ding P, Ghazali HM, Kadir J. Biochemical and cell wall ultrastructural changes in crown tissue of banana (*Musa AAA* ‘Berangan’) fruit as mediated by UVC

- irradiation against crown rot fungal infection. *Postharvest Biology and Technology*. 2017 Jun 1;128(128):144–52.
31. Pataro G, Sinik M, Capitoli MM, Donsi G, Ferrari G. The influence of post-harvest UV-C and pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of tomato fruits during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2015;30:103–11.
  32. Bravo S, García-Alonso J, Martín-Pozuelo G, Gómez V, García-Valverde V, Navarro-González I, et al. Effects of postharvest UV-C treatment on carotenoids and phenolic compounds of vine-ripe tomatoes. *International Journal of Food Science & Technology* [Internet]. 2013 Aug 1 [cited 2020 Apr 21];48(8):1744–9. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/ijfs.12146>
  33. Ait Barka E, Kalantari S, Makhlof J, Arul J. Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2000;48(3):667–71.
  34. Shama G. Process challenges in applying low doses of ultraviolet light to fresh produce for eliciting beneficial hormetic responses. Vol. 44, *Postharvest Biology and Technology*. Elsevier; 2007. p. 1–8.
  35. Schreiner M, Huyskens-Keil S. Phytochemicals in fruit and vegetables: Health promotion and postharvest elicitors. Vol. 25, *Critical Reviews in Plant Sciences*. Taylor & Francis Group ; 2006. p. 267–78.
  36. Ribeiro C, Canada J, Alvarenga B. Prospects of UV radiation for application in postharvest technology. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2012 Oct 5;24(6):586–97.
  37. Freitas A, Moldão-Martins M, Costa HS, Albuquerque TG, Valente A, Sanches-Silva A. Effect of UV-C radiation on bioactive compounds of pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) by-products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015 Jan 1;95(1):44–52.
  38. Formica-Oliveira AC, Martínez-Hernández GB, Díaz-López V, Artés F, Artés-Hernández F. Use of postharvest UV-B and UV-C radiation treatments to revalorize broccoli byproducts and edible florets. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* [Internet]. 2017 Oct 1 [cited 2020 Apr 21];43:77–83. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856417305817>
  39. Traka M, Mithen R. Glucosinolates, isothiocyanates and human health. Vol. 8, *Phytochemistry Reviews*. Springer; 2009. p. 269–82.

40. Bodas Folguera C. Irradiación UV-C como procedimiento de revalorización de subproductos alimentarios. Presentation presented at; 2018; XIII Congreso de Investigación para estudiantes pregraduados de Ciencias de la Salud. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid.