

Capítulo 1 Irradiación en Alimentos

Chapter 1 Food Irradiation

ORTIZ-RODRIGUEZ, Lilia*

Tecnologico Nacional de Mexico / Instituto Tecnológico Superior de Perote

ID 1^{er} Autor: *Lilia, Ortiz-Rodríguez* / **ORC ID:** 0000-0002-5548-0078, **CVU CONACYT ID:** 291742

DOI: 10.35429/H.2022.1.1.16

L. Ortiz

*lilia.ortiz@perote.tecnm.mx

L. Ortiz, F. Sandoval, G. Morales y C. Arcila (VV. AA.). *Tecnologías Emergentes Aplicadas en Alimentos. Handbooks-TI-©ECORFAN-Mexico, 2022.*

Resumen

La aplicación de radiación ionizante a los alimentos es una de las contribuciones más importantes de la ciencia y la tecnología de los alimentos, porque mejora la sanidad y la vida útil de los alimentos. Existen estudios científicos sobre esta tecnología emergente, donde demuestran que los alimentos no se convierten en productos radioactivos, sino por el contrario, los efectos de la irradiación son mínimos en su calidad nutricional, sensorial y de textura. La radiación no ionizante se encuentra en la mayoría de los ambientes en los que normalmente se desarrolla el ser humano. No se han encontrado efectos contundentes contra la salud. Los alimentos, por otro lado, están sujetos a dosis específicas de radiación no ionizante, como la luz visible, infrarroja, ultravioleta, microondas y haces de electrones acelerados con la finalidad de destruir microorganismos como virus o bacterias en alimentos o productos agrícolas. Exponer los alimentos a radiaciones controla la infestación de insectos, retrasa la maduración de la fruta o evitar que en las verduras brote algún patógeno, también reduce la alergenicidad de proteínas en productos pecuarios o semillas. Las frutas irradiadas son a menudo más dulces que los no irradiados. Sin embargo, el uso de dosis de irradiación excesivas puede tener efectos adversos en los alimentos por lo que es importante aplicar la normatividad de las dosis permitidas. Algunas de las ventajas de la aplicación de irradiación en alimentos es el ahorro de energía, la mejora el sabor y textura, el aumento de la vida útil, la reducción de la alergenicidad, es una alternativa para evitar el uso de productos químicos o fumigantes y esteriliza alimentos.

Irradiación, Alimentos, No Ionizante

Abstract

The application of ionizing radiation on food is one of the most important contributions to food science and technology due to it improves food safety and shelf life. There are scientific studies about this emerging technology that demonstrate that food does not transform into radioactive products, on the contrary, the irradiation effects are minimal on their nutritional, sensory and texture quality. Non-ionizing radiation is found in most environments where humans beings are normally developed. Adverse health effects have not been found. Food, on the other hand, is subject to specific non-ionizing radiation doses such as visible light, infrared light, ultraviolet light, microwaves and accelerated electrons beams in order to destroy microorganisms such as virus or bacteria on food or agricultural products. Exposing food to radiation controls insect infestation, delays fruit ripening or avoids the appearance of any pathogen on the vegetables; it also reduces the proteins allergenicity on livestock products or seeds. Irradiated fruits are frequently sweeter than non-irradiated fruits. However, excessive irradiation doses may have adverse effects on food; for this reason, it is important to apply the normativity of the allowed dose. Some of the advantages of applying irradiation on food are energy saving, the improvement of flavour and texture, the increase of shelf life, the reduction of allergenicity, it is an alternative for avoiding chemical products or fumigants and it sterilizes food.

Irradiation, Food, Non-Ionizing

1.1 Introducción

Una de las tecnologías emergentes es la aplicación de la energía ionizante en la conservación de los alimentos, las bombas atómicas y accidentes de plantas de energía nuclear, han generado miedo en la población suponiendo generan efectos secundarios en la salud por consumir alimentos irradiados.

Irradiación se describe como la aplicación de energía, acción de emitir radiaciones o rayos, que pueden ser de luz, de calor o magnéticos en el proceso. En la irradiación, los productos se someten a un campo de energía sin tener contacto con la fuente de energía. La aplicación del tipo de radiación y cantidad de calor suficiente en la irradiación de alimentos elimina bacterias que causan contaminación alimentaria, sin que los alimentos se vuelvan radiactivos (Rossi *et al.*, 2009; Léxico, 2021).

A lo largo de la historia se ha procurado mantener la salud de la población por el riesgo de consumir alimentos contaminados, es por ello que la organización Mundial de la Salud ha hecho hincapié en la implementación de medidas de higiene para que las personas puedan ingerir alimentos seguros, y sean sometidos a procesos donde se elimine en su mayor cantidad a los patógenos responsables de toxiinfecciones transmitidas a través de los alimentos.

La aplicación de radiación ionizante a los alimentos (irradiación alimentaria) es una de las contribuciones más importantes de la ciencia y la tecnología de los alimentos desde la adopción de la pasteurización, porque mejora la sanidad y la vida útil de los alimentos. La irradiación es una tecnología emergente que existe desde hace muchos años y se utiliza en muchos países diferentes donde es aplicada a diversos alimentos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), le preocupa que el rechazo injustificado de este proceso pueda poner en riesgo la salud y privar a los consumidores en opciones de alimentos procesados para su seguridad. (Käferstein *et al.*, 1993; FAO/OMS, 2003).

Este capítulo tiene como objetivo dar a conocer la irradiación no ionizante en la aplicación de alimentos que ha tenido un papel importante para garantizar la inocuidad alimentaria pues existen estudios científicos sobre esta tecnología emergente, donde demuestran que los alimentos no se convierten en productos radioactivos, sino por el contrario, los efectos de la irradiación son mínimos en su calidad nutrimental, sensorial y de textura, se dará a conocer brevemente los tipos de irradiación, las ventajas y desventajas del proceso así como las normas aplicadas en alimentos irradiados.

1.2 Irradiación, radiación y radioactividad.

La palabra irradiar según la real academia proviene del latín irradiare; impulsar rayos de luz en algún tipo de energía. La irradiación representa la velocidad a la que la energía cae sobre una superficie por unidad de área determinada. La palabra radiación se forma por los vocablos latinos “radius” = rayo de luz y “cion” = acción y efecto. El consejo de seguridad nuclear define la radiación como: “La emisión, propagación y transmisión de energía en cualquier medio en forma de ondas o partículas electromagnéticas” (CSN, 2015, p. 1). La radiación como tipo de transferencia de calor comparada con la conducción y la convección es más rápida (a la velocidad de la luz) y no se atenúa en el vacío. De igual forma, la transferencia de calor por radiación ocurre en los sólidos, así como en los líquidos y los gases (Cengel, 2011).

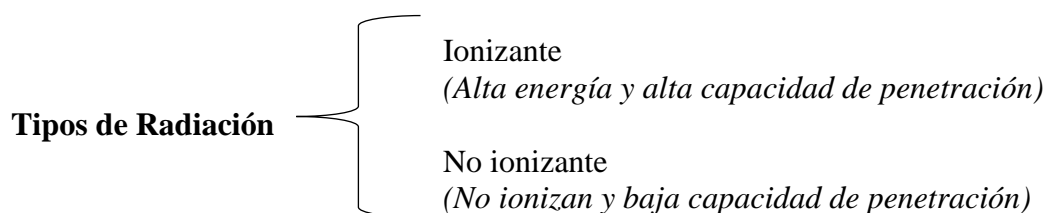
La palabra radioactividad proviene de los vocablos latinos “radius” = rayo, “agere” = mover hacia adelante y “tivo” = relación activa y pasiva. La radioactividad es un fenómeno físico caracterizado por la desintegración, es decir, la reorganización de los núcleos atómicos inestable, esta disgregación se acompaña de la manifestación de irradiaciones ionizantes, por otro lado Núñez, (2011) describe la radioactividad como un fenómeno natural consistente en la emisión espontánea y/o radiación electromagnética de partículas por parte de un núcleo inicial llamado núcleo padre, que a menudo se transmuta por lo general en otro núcleo distinto denominado núcleo hijo.

1.3 Tipos de radiación

La radiación térmica es el proceso de propagación de la energía interna de una sustancia emitida por ondas electromagnéticas y representa la energía emitida por la materia debido a un cambio en la configuración electrónica de los átomos o moléculas (Camaraza, 2020).

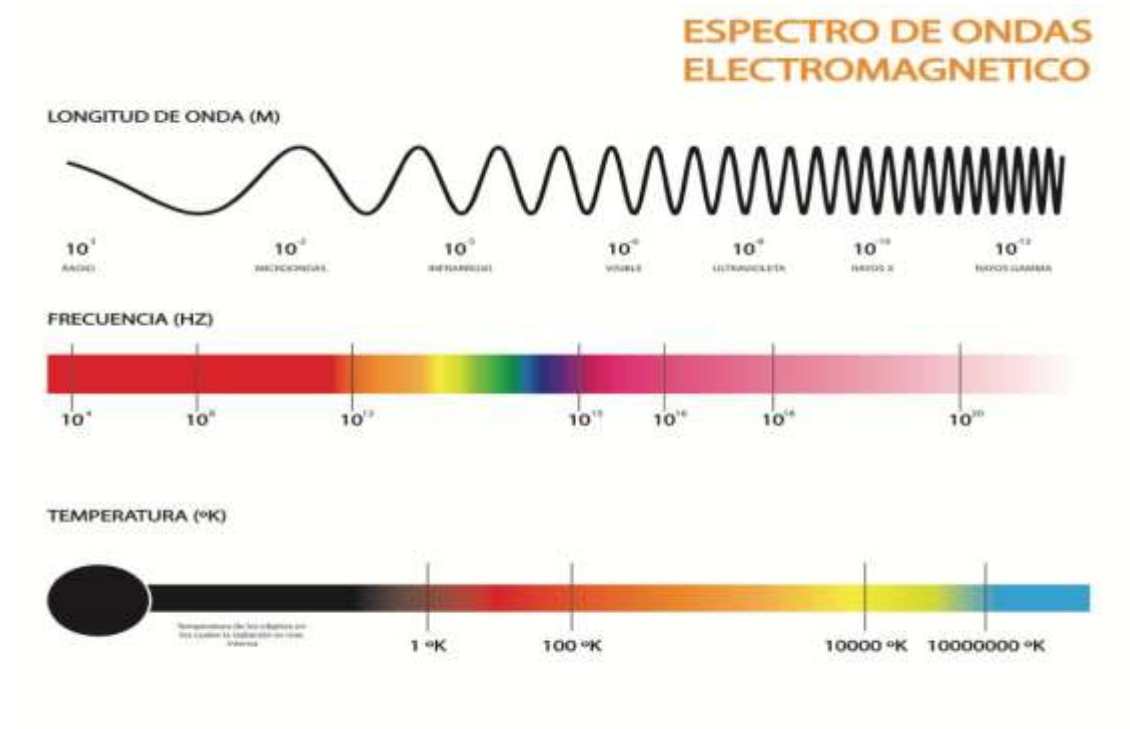
La radiación es uno de los tres tipos de transferencia de calor, pero a diferencia de los otros dos, es el más rápida, no es proporcional a un gradiente de temperatura y no necesita de un medio natural para propagarse. Cualquier molécula posee energía de traslación vibratoria, rotacional y electrónica en estados cuánticos (Pan y Atungulu, 2010). Según Medina *et al.*, (2002) la energía que posean, se puede clasificar en radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes:

Figura 1.1 Esquema de los tipos de radiación



Las ondas electromagnéticas existen desde el comienzo del universo. Su forma más conocida es la luz. El espectro electromagnético (figura 1.2) abarca campos eléctricos y magnéticos con diversas regiones de longitud de onda, energía, frecuencia desde los rayos cósmicos, los rayos X, pasando por las radiofrecuencias y los rayos infrarrojos (OMS, 2016).

Figura 1.2 Espectro electromagnético



Fuente de Consulta: Elaborado por el equipo de trabajo

1.3.1 Radiación ionizante

Existe una gran parte de la energía depositada inicialmente por irradiación en forma de átomos o moléculas excitados o electrones e iones libres, estos últimos se denominan ionización primaria (Allison, 2006).

L' Annunziata (2012) describe que existen varios tipos de radiaciones ionizantes:

- **Radiación α (alfa):** es el proceso de descomposición nuclear mediante el núcleo padre que emite una partícula alfa, está equivale al núcleo de un átomo de helio que lo conforman dos neutrones y dos protones de manera que el núcleo original se transforma en otro. las partículas alfa se emiten como productos de descomposición de muchos radionucleidos predominantemente con un número atómico superior a 83 Su poder de penetración es tan bajo que son bloqueadas incluso por el tamaño de una hoja de papel.
- **Radiación β (beta):** puede definirse como cualquier proceso de desintegración nuclear por el cual el número de masa (A) del núcleo permanece igual y el número atómico Z cambia. Hay tres tipos principales de desintegración beta: a) emisión de negatrón (β^-), que implica la emisión de una partícula beta negativa, un negatrón o partícula beta negativa es un electrón emitido desde el núcleo de un radionucleido en descomposición que posee un exceso de neutrones. b) Emisión de positrón (β^+) mediante el cual se emite una partícula beta positiva o un electrón cargado positivamente y c) captura de electrones (EC), es otra forma de desintegración beta, el cambio en el número atómico es el mismo que ocurre con la emisión de positrones. Su poder de penetración es mayor que la radiación alfa, materiales como la madera, vidrio o aluminio, bloquean por completo las partículas beta.

- **Radiación γ (gamma):** Estos fotones producidos durante la desintegración de núcleos inestables, los procesos de desintegración a menudo dejan el producto en un estado excitado cae directamente al estado fundamental y desciende a estados de energía más bajo. La irradiación gamma es un proceso iónico sin calor que se utiliza ampliamente como método de esterilización en frío para alimentos, envases de alimentos y productos médicos.
- **Radiación X:** es una radiación electromagnética similar a la radiación gamma (γ). Tanto los rayos X como los rayos γ son idénticos en sus propiedades. Tanto los rayos X como los γ son fotones que poseen un cuántico de energía se definen por la ecuación, $E = h\nu$, que es el producto de $h =$ constante de Planck y $\nu =$ la frecuencia de la radiación.

1.3.2 Radiación no ionizante

Se define como radiación que no contiene suficiente energía para quitar electrones de los átomos o modificar las estructuras moleculares (Cheng, 2007). La radiación no ionizante se encuentra en la mayoría de los ambientes en los que normalmente se desarrollan los humanos se desarrollan naturalmente, el uso indiscriminado de los dispositivos electrónicos emisores de radiación, teléfonos móviles, ondas de radio, dispositivos electrónicos portátiles y hasta la fecha no se han encontrado efectos contundentes contra la salud (Esquivel *et al.*, 2013), y los alimentos por otro lado, están sujetos a dosis específicas de radiación no ionizante, como la luz visible, infrarroja y ultravioleta; microondas y haces de electrones acelerados para destruir microorganismos como virus o bacterias en alimentos o productos agrícolas (Bisht, 2021).

- **Radiación ultravioleta (UVR):** Son ondas con frecuencias entre 10¹⁴ y 10¹⁷ Hertzios (Hz), que se producen por átomos y moléculas en descargas eléctricas (Araujo, 2002), cubre el rango de longitud de onda de la radiación solar entre 200 y 400 nm, está clasificado en tres regiones espectrales: UV-A (315– 400 nm), UV-B (280– 315 nm) y UV-C (200–280 nm) (Schmelzer, 1998). La irradiación ultravioleta (UV) es una tecnología no térmica atractiva capaz de inactivar microorganismos en jugos y otras bebidas sin afectar la calidad sensorial y de nutrientes, y ofrece oportunidades para la industria de procesamiento de alimentos (Patras, 2021).
- **Radiaciones infrarrojas:** proviene de cualquier fuente que genera calor, incluido el Sol, abarca el rango de 700nm-2500nm y tiene energía suficiente para excitar armónicos y combinaciones de estas vibraciones moleculares a altas energías (Deavile y Flinn 2000).
- **Radiaciones de microondas:** efecto de las ondas electromagnéticas de alta frecuencia debido a las propiedades dieléctricas de sus componentes (Fernández *et al.*, 2008). Los hornos convencionales de microondas tienen aproximadamente una frecuencia de onda de 2,45 GHz se fabrican con tubos emisores de electrones especiales como los klistrones o magnetrones, que incorporan un resonador para controlar la frecuencia, o con un oscilador o un dispositivo semiconductor especial (Punathil y Basak, 2017).

1.4 Antecedentes de la irradiación en alimentos.

La radiación no fue invento del hombre, fue descubierta en los fines del siglo XIX. La base teórica de la radiación fue establecida en 1864 por el físico James Clerk Maxwell, quien observó que una aceleración de una carga eléctrica o un cambio en la corriente produce campos eléctricos y magnéticos (Cengel, 2011). En 1887 Heinrich Hertz demostró experimentalmente la existencia de ondas electromagnéticas que Maxwell había predicho. La radiación ionizante fue descubierta por Rontgen justo antes del comienzo del siglo XX.

El efecto de la radiación sobre cualquier materia es ionizar los átomos que encuentra a su paso, por lo que es radiación ionizante proveniente de muchas fuentes (Núñez, 2011). La irradiación de alimentos es una técnica de procesamiento que mejora la seguridad de los alimentos y prolonga la vida útil al reducir o eliminar los microorganismos e insectos y la prevención de las brotaciones. El alimento irradiado con radiación ionizante se denomina “alimento irradiado”. (Kobayashi, 2018).

La Comisión de Energía Atómica de EE. UU. (AEC) inició un programa sobre alimentos irradiación en 1950. En 1954 el ejército estadounidense inició un programa de esterilización de alimentos, desde entonces, los Estados han invertido millones de dólares para verificar la viabilidad de los alimentos irradiados, a través de la administración de alimentos y drogas (FDA), el departamento de agricultura, las fuerzas armadas y el sector privado, es decir, la seguridad desde el punto de vista toxicológico, nutricional o provisional. Los Laboratorios Natick del Ejército de EE. UU. Comenzaron una investigación sobre la esterilización de alimentos por irradiación en 1962, y en 1964 la FDA había aprobado la técnica para tocino enlatado, trigo y harina de trigo, y para inhibir la germinación de patatas blancas (Nielsen, 1987; Urrutia, 1996).

Aunque la radioactividad en alimentos tiene una larga historia las primeras patentes para la tecnología de irradiación se emitieron en 1905. La primera patente para el uso de radiación para esterilizar alimentos fue hasta 1930, y la investigación real sobre los efectos conservantes no comenzará hasta la década de 1940. En 1943 se demostró que los rayos X podían aumentar la vida útil de una hamburguesa. Estas investigaciones coincidieron con los estudios sobre energía nuclear y producción de radioisótopos (Nielsen, 1987).

El desarrollo e investigación en esta área se desarrollaba al mismo tiempo en las industrias alimentarias del Reino Unido. También se iniciaron investigaciones en otros países: en Canadá y Japón (1956), la URSS y Argentina (1957), Polonia (1958), India (1959) y Israel (1960). En 1968, 76 países tenían programas de irradiación de alimentos. En Europa, tanto la CEE como la OCDE contribuyeron a la evolución. En 1970, 23 países organizaron el proyecto internacional en irradiación de alimentos (IFIP), en el centro de investigación nuclear de Karlsruhe, Alemania, el cual llevó a cabo una gran cantidad de estudios de alimentación animal, proyecto que duró hasta 1982, como resultado se generaron 70 informes que describen de nutrición, ninguno de ellos mostró efectos adversos de la irradiación (Nielsen, 1987; OMS, 1995).

Fue legalmente autorizado irradiar patatas para prevenir la germinación en 1972, y desde 1974 las patatas irradiadas han sido enviadas desde la Asociación Cooperativa Agrícola de Shihorocho en Hokkaido. En 1979 el OIEA publicó los reglamentos en el control y el comercio de alimentos irradiados. En 1983 la comisión del código alimentario (Codex Alimentarius Commission) elabora un protocolo para el uso de radiación en alimentos irradiados. En 1986 la FDA adopta un reglamento que requiere a los alimentos envasados aprobados para el tratamiento de irradiación indiquen en la etiqueta que han sido tratado con radiación o irradiación. En 1987 la revisión de la FDA de los estudios de toxicidad respalda las recomendaciones de radiación para que los productos avícolas prolonguen la vida útil y disminuir el riesgo de contaminación por Salmonella. La compilación incluye tres estudios dietéticos realizados en el Instituto Central de Nutrición y Bromatología de los Países Bajos. En Ginebra de 1997, el Dr. FS Antezana director general adjunto interino, inauguró la reunión de los directores de las tres organizaciones FAO-OIEA-OMS y dijo que habían tenido una larga y fructífera historia de colaboración en el área de la irradiación de los alimentos que había comenzado ya desde 1961 (OIEA, 1981; FDA, 1988; OMS, 1999).

La legislación de los estados Unidos de América permite la irradiación de alimentos, en 1985 se utilizó la carne de cerdo para el control de Trichinell, en 1986 para el control de insectos y maduración en frutas y verduras, en el año de 1990 en carne de aves fresca y congelada, para eliminar bacterias (Raventós, 2005). La irradiación de frutas como control fitosanitario en el 2002 por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Prieto, 2019). En México en el año de 2011 se inauguró la planta de irradiación fitosanitaria de Phytosa-Benebion el método cuarentenario principal para el mango en la actualidad es el tratamiento de irradiación “ 10 frutos mexicanos han llegado a los mercados de los E.U. Un total de 15000 ton se enviaron en 2016” (Bustos, 2011).

1.5 Proceso de irradiación en alimentos

En diferentes países y muchas organizaciones internacionales como CODEX, OIEA, OMS, FAO han aprobado la irradiación para la conservación de alimentos, aumentar la vida útil, la inocuidad y utilidad de para tratar alimentos envasados, frescos, congelados. La sobrevivencia y crecimiento de la tecnología de irradiación, a pesar de haber demostrado su utilidad e inocuidad depende de la aceptación del público.

La irradiación de alimentos es una tecnología que no agrede al medio ambiente que no utiliza productos químicos y contribuye a la solución de inconvenientes de seguridad alimentaria y de sanidad alimentaria, especialmente reduciendo las pérdidas poscosecha de alimentos y el control de enfermedades provocadas por los alimentos, como alternativa a la fumigación química con óxido de etileno y gases de bromuro de metilo. China es uno de los países seguido de Estados Unidos como los productores de alimentos irradiados.

La irradiación gamma ha sido aceptada internacionalmente como una técnica de procesamiento y conservación de alimentos. Su amplia aplicación incluye la desinfestación, la inhibición de la germinación, maduración retardada, reducción microbiana y modificación del almidón de diversos granos, frutas y verduras. La irradiación altera la estructura de los macrocomponentes del alimento y por tanto afecta a las distintas propiedades físico-químicas, funcionales, térmicas y reológicas. Para minimizar los efectos perjudiciales, es necesario optimizar la dosis de irradiación con el fin de minimizar el efecto indeseado inducido por la irradiación sobre las propiedades organolépticas de los alimentos (Kulsum, 2021).

1.5.1 Unidades de medida de radiación

En el Sistema de medidas Internacional, el Gray es la unidad de radiación y se abrevia como (Gy). Se define como la cuantía de energía que absorbe el sistema irradiado y es semejante a un J/kg, en el sistema tradicional 1 Gy es igual a 100 rad, en la tabla 1.1 se muestran algunas dosis para aplicación de la irradiación de alimentos:

Tabla 1.1 Dosis necesarias en distintas aplicaciones de la irradiación de alimentos

Propósito	Dosis (kGy)*	Productos
Dosis reducida (hasta 1 kGy)		
Inhibir germinación	0,05 - 0,15	Patatas, cebollas, ajos, raíz de jengibre, etc.
Eliminar insectos y parásitos.	0,15 - 0,50	Cereales y legumbres, frutas frescas y secas, pescado y carne frescos y secos, cerdo fresco.
Retrasar procesos fisiológicos	0,50 - 1,0	Frutas y hortalizas frescas
Dosis Media (1-10 kGy)		
Inhibir germinación	1,0 - 3,0	Pescado fresco, fresas, etc.
Eliminar insectos y parásitos	1,0 - 7,0	Marisco fresco y congelado, aves de corral y carne cruda o congelada, etc.
Mejorar propiedades tecnológicas del alimento	2,0 - 7,0	Uvas (aumento la producción de zumo) verduras deshidr
Dosis Elevada (10-50 kGy)		
Esterilización industrial (combinada con calor suave)	30 -50	Carne. Aves, mariscos, alimentos preparados, dietas hospitalarias estériles.
Descontaminar ciertos aditivos alimentarios e ingredientes	10 -50	Especies, preparaciones enzimáticas, goma natural, etc.

Fuente de Consulta: OMS, 1989

1.5.2 Aplicaciones de irradiación en alimentos

Se utilizan tres tecnologías de irradiación diferentes para los alimentos:

Los rayos gamma utilizan la radiación emitida por una sustancia radiactiva, tales como cobalto-60 o cesio-137, y puede penetrar los alimentos a una profundidad de aproximadamente 50 cm. Esta tecnología se ha utilizado de forma rutinaria durante más de 30 años para la esterilización de productos médicos, dentales y domésticos, y también se utiliza para la radioterapia de algunos tipos de cáncer (Ehling, 2010). La irradiación gamma ha demostrado resultados efectivos en la disminución de los residuos pesticidas en los alimentos, limitando la formación de acrilamida en las papas irradiadas. También ha mostrados sus aplicaciones en modificaciones de almidón y proteínas para usarlas de manera efectiva en el desarrollo de películas comestibles.

Robichaud *et al.*, (2020) evaluaron el efecto de la irradiación γ sobre la inactivación microbiana de patógenos (*Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* O157:H7 y *Salmonella Typhimurium*), demostraron que el uso de aditivos alimentarios, principalmente carbonato de sodio, la combinación de la irradiación γ puede reducir el tiempo de procesamiento de la irradiación para garantizar la seguridad de los productos de leche en polvo de fórmula infantil.

El efecto de la irradiación gamma también fue evaluado para la producción de alimentos de destete utilizando arroz integral, frijol, pulpa de manzana en polvo y nuez en polvo que la irradiación es eficaz en términos de mantenimiento de la calidad. La irradiación no mostró una clara tendencia al cambio de aminoácidos. Los parámetros funcionales, a saber, la relación de rehidratación, el poder de hinchamiento y el índice de pardeamiento disminuyeron con el aumento de la dosis de irradiación. Sin embargo, mejoró la solubilidad, la actividad antioxidante, el contenido total de fenol y β -caroteno y también disminuyó el recuento total en placa y los factores antinutricionales en mayor medida (0, 2, 4, 6, 8 y 10 kGy) y las condiciones ambientales posteriores de almacenamiento (Jan *et al.*, 2020).

El haz de electrones es una corriente de electrones de alta energía, propulsados de un cañón de electrones y puede penetrar los alimentos solo a una profundidad de aproximadamente tres centímetros. Dos rayos opuestos pueden tratar alimentos que tienen el doble de espesor. Los esterilizadores médicos por haz de electrones se han utilizado durante al menos 15 años.

La irradiación de rayos X es la tecnología más nueva y también se está desarrollado comercialmente. Al igual que los rayos gamma, los rayos X pueden atravesar alimentos espesos, y requieren un blindaje pesado por seguridad (Ehling, 2010).

La irradiación para evitar contaminación de patógenos ha demostrado ser eficaces para reducir la contaminación externa y / o interna por ejemplo en *Salmonella*, una de las bacterias más importantes en los estudios de irradiación de alimentos. Se han realizado pocos trabajos sobre la eficacia de la radiación gamma frente a las biopelículas formadas por esta bacteria. El efecto de la radiación gamma mostró que *Salmonella enterica* serovar Hadar podría adherirse y formar la biopelícula en superficies industriales como poliestireno, PVC, vidrio y papel celofán el tratamiento con radiación gamma 1 o 2 kGy. podría reducir la formación de biopelículas de *Salmonella* en distintas superficies de contacto con alimentos. (Yahia *et al.*, 2018).

Por otro lado, la irradiación con UV-C es una estrategia eficaz para reducir la contaminación por *Salmonella* en los huevos sin afectar negativamente la calidad. Mattioli *et al.*, (2020) demostraron que los rayos UV-C podría considerarse una estrategia eficaz para reducir la contaminación por *Salmonella* y mejorar la calidad del huevo de gallina, este método no afectó negativamente la calidad de los huevos, es fácil de usar y 3 el equipo tiene un costo bajo.

La irradiación UV-C reduce la carga microbiana de los frutos y contribuye a incrementar su contenido de compuestos fenólicos, muestras de snacks de piña fueron sometidas a digestión gastrointestinal simulada y fermentación colónica in vitro, para evaluar la bioaccesibilidad. Se identificaron veintiséis compuestos diferentes, incluidos flavonoides, ácidos hidroxycinámicos y fenólicos en las muestras digeridas (Del Juncal, 2021).

La irradiación por ultrasonido se ha probado como un método eficiente sobre la caracterización y el efecto inhibitor del polisacárido α -glucosidasa para mejorar su bioactividad en la fruta de mora (Zuman, 2019).

Benavides *et al.*, (2020) evaluaron el contenido fenólico total y la actividad antioxidante de dos tipos de papas nativas (*Solanum phujera*) y confirmó que la extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos dos variedades de papas nativas en muestras de pulpa y piel seca aumento en un 118 a 195% de fenoles totales en comparación con el método de extracción convencional.

La irradiación por microondas se ha considerado una tecnología prometedora para el procesamiento térmico de flujo continuo de alimentos fluidos debido a una mejor retención de la calidad. La tecnología de microondas (MW) es un proceso industrial térmico emergente que ofrece un calentamiento rápido y uniforme, alta eficiencia energética y alta calidad general del producto final.

Las técnicas de procesamiento por microondas se han utilizado ampliamente en la industria alimentaria debido a su reducción significativa en el tiempo de cocción y el consumo de energía. Las tecnologías de procesamiento por microondas, como el secado, el calentamiento y la esterilización por microondas, desempeñan un papel importante en el control de la calidad y la seguridad de los alimentos. Sin embargo, se han publicado pocas revisiones en los últimos años que resuman los últimos avances en la aplicación de la tecnología de microondas en la industria alimentaria (Arjmandi, 2017; Guo, 2017; Costa *et al.*, 2020;).

Los microondas se han utilizado para inactivar enzimas como la peroxidasa y polifeniloxidasas. La tecnología de calentamiento sugiere efectos específicos de las microondas en la estructura de la proteína (Costa *et al.*, 2021). También se han utilizado para evaluar la enzima poligalacturoasa en puré de tomate, el tratamiento a alta potencia y corto tiempo (1900 W / 180 s, 2700 W / 160 s y 3150 W / 150 s) mejoró la viscosidad y la extracción de licopeno, este tratamiento térmico le proporcionó al puré de tomate una mejor calidad nutricional, reduciendo los tiempos de proceso en comparación con el proceso de pasteurización estándar (Arimandi, 2017).

Los alimentos que han sido irradiados por microondas son: frutas (plátano, manzana, aceituna, guindas, granada, arándanos, kiwi, fresa y tomate uva). vegetales (papa, brote de bambú, hojas de verdolaga, cebolla, judías verdes, calabaza, berenjena, maraña de mar, ajo, col rizada, col roja, tomate, yuca, lentejas, garbanzo, brócoli, coles de Bruselas, coliflor, pimientos jalapeño y follaje de cilantro) y productos cárnicos (pescado sardina, rodajas de carpa plateada reestructurada, pepino de mar, músculo semitendinoso de res, músculo supraespinoso bovino, músculo longissimus dorsi de camello, carne de potro, músculo glúteo medio bovino, filete de pollo, músculos de vacas maduras, salmón, bacalao, y rodajas de res (Guo, 2017).

1.6 Ventajas de la irradiación en alimentos

Irradiación dentro de las dosis aprobadas (típicamente 1-10 kGy), se ha demostrado que generalmente destruye microorganismos al menos el 99,9% transmitidos por los alimentos, la irradiación reduce eficazmente las células viables, la microflora normal y deteriorada de carnes a través de la irradiación no mejora el crecimiento de patógenos como *Escherichia coli* 0157: H7 o *Salmonella* spp, en *E. coli* por ejemplo internalizado en la lechuga, contra el cual los tratamientos superficiales son menos efectivos, también previene la producción de patulina durante el almacenamiento de jugo de manzana, además evita la producción de micotoxinas en frutas, granos, frijoles y maní durante el almacenamiento. disminuyó al aumentar la dosis de radiación (Ehling, 2010). La irradiación se ha utilizado con éxito para erradicar microorganismos, plagas, insectos y también inhibir las actividades enzimáticas. Debido a estas ventajas, el comercio internacional ha mostrado una tendencia creciente.

Una de las ventajas que tiene la irradiación es el ahorro de energía, se controla fácilmente, no deja residuos y, por tanto, es respetuosa con el medio ambiente. La radiación ionizante (electrones, rayos gamma y rayos X) y la radiación no ionizante (rayos UV) se utilizan comúnmente en los alimentos. El efecto de la irradiación en dosis típicas es comparable al del calor, pasteurización, por lo que los alimentos irradiados deben refrigerarse adecuadamente y cocinados antes del consumo. Es una de las tecnologías en los alimentos más regulados dentro de las ventajas que describen varios autores es que un alimento sometido a este tipo de tratamiento no eleva la temperatura y es conveniente para alimentos termosensibles. (Rossi *et al.*, 2009; Ehling, 2010).

La irradiación de muchos alimentos de acuerdo con un protocolo validado no cambia significativamente el sabor, la textura o la apariencia. Algunos alimentos tratados por la irradiación pueden tener un sabor ligeramente diferente, al igual que la leche pasteurizada sabe ligeramente diferente de la leche no pasteurizada. El uso de dosis estándar puede tener un impacto positivo, como mantener la nutrición, sustancias desintoxicantes tóxicas, prevenir el crecimiento de microbios patógenos y aumentar la vida útil del producto (Ehling, 2010; Indiarto y Qonit, 2020).

Las bajas dosis de radiación (hasta 1 kGy) pueden incrementar la vida útil de muchas frutas y verduras reduciendo el número de bacterias de deterioro y moho, e inhibiendo la brotación y la maduración. Irradiar las fresas extiende su vida útil refrigerada hasta tres semanas sin deterioro o encogimiento, frente a tres a cinco días sin tratamiento. Una vida útil prolongada puede compensar el costo ligeramente mayor de producción de alimentos irradiados.

La irradiación de alimentos asegura la base para la percepción y conciencia pública sobre el mercado interno de la seguridad alimentaria y proporciona soluciones innovadoras para medidas sanitarias y fitosanitarias. En la Región de Asia Pacífico, China ha iniciado proyectos sobre procesamiento por radiación. Se pusieron en práctica varios objetivos, incluida la extensión de la vida propia, la irradiación sanitaria y fitosanitaria para satisfacer las necesidades alimentarias convencionales de grandes poblaciones y evitar pérdidas postcosecha. Como tal, la irradiación puede ayudar a garantizar un suministro de alimentos más seguro y abundante al extender la vida útil de los alimentos mediante el control de plagas y patógenos (Ehling, 2010; Erhan & Nurcan, 2021).

Exponer los alimentos radiaciones ionizantes como haces de electrones, rayos X o radiación gamma para inducir la desaparición de bacterias que pueden causar intoxicación alimentaria, controlar la infestación de insectos, retrasar la maduración de la fruta o evitar que en las verduras brote algún patógeno, también reduce la alergenicidad de proteína en productos pecuarios como el cangrejo y camarón o proteínas de la nuez (Ehling, 2010).

El Organismo Internacional de Energía Atómica, en cooperación con la FAO, ha apoyado proyectos de investigación y demostraciones de irradiación de alimentos en todo el mundo, La Agencia Internacional de Energía Atómica larga historia de la conservación de alimentos con irradiación en países en desarrollo, como lo demuestran los proyectos en Asia, por otro lado la Organización Panamericana de la Salud ha estado promoviendo la irradiación de alimentos en las Américas desde México para Chile desde hace muchos años y aseguran que el uso de la irradiación de alimentos asegurará una mayor salud para el hombre en todo el mundo (Steele, 2000).

Irradiación de especias, hierbas y vegetales secos, condimentos es una alternativa para evitar uso de productos químicos o fumigantes, como óxido de etileno y bromuro de metilo, que pueden afectar el medio ambiente, las regulaciones cada vez son más restrictivas o con la prohibición completa del uso de varios fumigantes químicos para el control de insectos y microbios en la industria alimentaria, la irradiación se está convirtiendo en una alternativa preferida para proteger los alimentos del daño causado por insectos y como tratamiento de cuarentena para productos frescos.

Organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) certifican que la irradiación en alimentos es un método de conservación seguro, es un punto crítico de control efectivo un sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP).

1.7 Efectos de la irradiación sobre las propiedades en los alimentos

Históricamente en la conservación de los alimentos será criticado y atacado ciertos procesos como peligroso, como han sido los casos desde la pasteurización de la leche, los alimentos congelados, el envasado de alimentos, fueron igualmente atacado como peligroso, también ha sido el caso para la irradiación en los alimentos (Steele, 2000).

La naturaleza y extensión de estos cambios depende del tipo, composición y variedad del alimento, así como de la dosis de radiación aplicada y las condiciones ambientales durante y después de la radiación proceso. La aplicación de radiación ionizante puede alterar las componentes estructurales de algunas frutas, dándoles una mejor apariencia y realzando su firmeza. Las dosis bajas de radiación pueden provocar la hidrólisis de algunos componentes, lo que resulta en una vida útil más larga y la conversión del almidón al azúcar (Lima *et al.*, 2018).

Las frutas irradiadas son a menudo más dulces que los no irradiados (Thomas, 1986) sin embargo el uso de dosis de irradiación excesivas puede tener efectos adversos en los alimentos, como una disminución de las propiedades funcionales y sensoriales. Los alimentos tratados por irradiación son generalmente tan nutritivos como, o mejor que, el mismo alimento tratado por procesos convencionales y familiares como cocinar, secar o congelar (Ehling, 2010). La tabla 1.2 presenta algunos rangos de dosis de irradiación y el efecto en los alimentos.

Tabla 1.2 Dosis y efecto en los alimentos

Tipo de Dosis	Dosis	Efecto
Baja	(hasta 1 kGy)	Retrasa los procesos fisiológicos, como maduración y envejecimiento de frutas frescas y vegetales, y sirve también para controlar insectos y parásitos en los alimentos.
Media	(hasta 10 kGy)	Reduce los microorganismos patógenos y descomponedores de distintos alimentos; se utiliza para mejorar propiedades tecnológicas de los alimentos, como reducir los tiempos de cocción de vegetales deshidratados y para extender la vida de varios alimentos.
Alta	(superior a 10 kGy)	Esteriliza alimentos deshidratados como las especias y con humedad como la carne bovina, pollo, mariscos y pescados, y otras preparaciones, en combinación con un leve calentamiento para inactivar enzimas y para la desinfección de ciertos alimentos o ingredientes.

Fuente consulta: WHO, 1999; Rossi et al., 2009

La irradiación con microondas generalmente puede retener una mayor cantidad de componentes bioactivos, la actividad antioxidante y el atractivo color de las verduras, mientras que la cocción utilizando microondas puede disminuir la cantidad de los nutrientes debido a la lixiviación y la resistencia térmica. La esterilización por microondas tiene la capacidad de inactivar por completo los microorganismos y destruir eficazmente la actividad enzimática, y tiene menos efecto sobre la actividad antioxidante, la textura y el color de los productos alimenticios en comparación con la pasteurización convencional (Guo, 2017).

En ciertos casos, la irradiación puede mejorar la calidad nutricional de la comida. Por ejemplo, se ha demostrado que la irradiación aumenta el total contenido fenólico de la lechuga, y el contenido de isoflavonas y fenólico total de soja. Ciertas vitaminas (por ejemplo, tiamina, ácido ascórbico, retinol y α -tocoferol), se puede reducir mediante irradiación, así como por otros métodos de procesamiento de alimentos o por simple almacenamiento. La irradiación a dosis de hasta 2 kGy tiene un efecto insignificante sobre el contenido de antocianinas del jugo de granada. Irradiación a dosis de hasta 3 kGy no causa una pérdida significativa de flavonoides en las fresas y tiene un efecto insignificante sobre el contenido de ácidos grasos saturados, insaturados y trans de la carne de res o aceite de oliva. La irradiación en almacenaje de arroz durante 6 meses disminuyó la cantidad de hongos y micotoxinas, así como no se demostró ningún cambio en las propiedades de cocción y coloración (Ehling, 2010; Ferreira, 2021).

1.8 Legislación de irradiación en alimentos para consumo humano

En 1963 por primera vez se reunió el Comité Mixto FAO / OIEA / OMS expertos en Irradiación de Alimentos. El Proyecto Internacional en el área de la Irradiación de Alimentos (IFIP) fue fundado por varios países en 1970, con una sede administrativa el entonces Centro Federal de Investigación de Conservación de Alimentos, Karlsruhe, Alemania. En 1984 se concluye que cualquier alimento irradiado hasta 10 kGy es apto para el consumo (Dieter, 2016).

Desde 1981, varias otras agencias internacionales han revisado nuevamente las cuestiones de seguridad, incluida la Organización Mundial de la Salud y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (OMS, 1994; EFSA, 2011).

La seguridad del consumo y la salubridad de los alimentos irradiados se han estudiado ampliamente en las cooperaciones internacionales. Numerosos grupos de expertos internacionales establecidos conjuntamente por la FAO, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la OMS, o el Comité Científico de Alimentos de la Comisión Europea, concluyeron que los alimentos irradiados con tecnologías apropiadas son inocuos y nutricionalmente adecuados, también se han elaborado una Norma General del Codex para Alimentos Irradiados y un Código Internacional Recomendado de Prácticas para el Procesamiento de Alimentos por Radiación (Farkas, 2011).

Sin embargo, las normas del Codex no especifican los tipos de alimentos que se van a irradiar o la dosis para fines específicos para cada artículo alimenticio, dejando a los organismos reguladores nacionales la reglamentación teniendo en cuenta las recomendaciones de las normas del Codex (Swier, 2021).

El Comité Internacional de Protección contra la Radiación No ionizante en inglés International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) resguarda la evidencia epidemiológica sobre los posibles efectos de salud de la exposición a largo plazo a campos de radiofrecuencias de entre 100 kHz y 300 GHz. Actualmente, aproximadamente 60 países han aprobado la irradiación de uno o más alimentos., la mayoría de estos países siguen las recomendaciones del Codex para la irradiación de alimentos.

La aplicación específica de la irradiación de alimentos está aprobada por la legislación nacional en más de 55 países en todo el mundo. Sin embargo, el uso comercial de la irradiación sigue siendo limitado. Este lento avance se debe principalmente a factores psicológicos y políticos, la desinformación generada por diversos grupos activistas, y la reticencia de la industria a implementar el proceso es desalentada por dichas fuerzas. El futuro de la irradiación de alimentos dependerá de un público informado y de una mejor comprensión del papel que puede desempeñar el proceso en el control de patógenos transmitidos por los alimentos (Farkas & Mohácsi-Farkas, 2011).

Los organismos nacionales de seguridad alimentaria también han llevado a cabo amplias revisiones de la seguridad de la irradiación de alimentos. Son notables muchas revisiones realizadas por la Administración de Drogas y Alimentos de los EE. UU. En respuesta a las solicitudes para irradiar varios alimentos (por ejemplo, FDA, 2008). Food Safety Australia New Zealand ha llevado a cabo varias revisiones, ya que aplica una política de aprobación de la irradiación de alimentos sobre una base de uso y alimento específico (por ejemplo, FSANZ, 2012).

Health Canada (HC, 2008) y muchas otras agencias han revisado la seguridad de los alimentos irradiados a lo largo de la historia. Algunas organizaciones profesionales especializadas como la Comisión Internacional de Microbiología e Higiene de los Alimentos (ICFMH, 1982), la Asociación Médica Americana y organizaciones de salud pública (Steel, 2001) y la Asociación Dietética Estadounidense (Wood & Bruhn, 2000) también han respaldado la irradiación de alimentos (Roberts, 2016).

En México la NOM-033-SSA1-1993 es la norma oficial que contrala y regula el proceso de irradiación de alimentos, materias primas y aditivos alimentarios, debe ser seguida por las personas o empresas que trabajen en su procesamiento o importación en todo el país.

1.9 Conclusiones

El interés en la tecnología de irradiación de alimentos ha aumentado debido a un fuerte enfoque en disminuir las enfermedades transmitidas por alimentos. En este capítulo se mostró que irradiar los alimentos tiene resultados beneficiosos potenciales en microbiología, propiedades organolépticas, vida de anaquel, empaques, entre otros ,que permite ofrecer a un comercio internacional exigente con los estándares de calidad otra opción como tratamiento fitosanitario de los alimentos que cruzan fronteras internacionales o nacionales.

La irradiación de alimentos ha encontrado varias barreras, por parte del consumidor tiene la creencia de llegar a tener un daño en su salud aun cuando organismos internaciones, han concluido que el consumo de cualquier alimento tratado con dosis permitidas de radiación son seguro y agradable al paladar, además del lento progreso en la comercialización de la tecnología pero por otro lado jamás ha existido un tratamiento de alimentos tan estudiado con profundidad de antecedentes científicos y relevancia como la irradiación de alimentos.

Referencias

- Allison, W. (2006). *Fundamental physics for probing and imaging*. Oxford University Press, USA. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2007.08.012>
- Arjmandi, M., Oton, M., Artes F., Artes H., Gómez P.A., Aguayo E. (2017). Microwave flow and conventional heating effects on the physicochemical properties, bioactive compounds and enzymatic activity of tomato puree. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 97, 3, 984-992. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7824>
- Asamblea Mundial de la Salud, 47. (1994). 47a Asamblea Mundial de la Salud, Ginebra, 2-12 de mayo de 1994, resoluciones y decisiones, anexos. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/203635>
- Benavides-Guerrero, R., Revelo-Cuarán, Y. A., Arango-Bedoya, O., & Osorio-Mora, O. (2020). Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from two varieties of an Andean native potato (*Solanum phureja*) and evaluation of their antioxidant activity. *Información tecnológica*, 31(5), 43-50. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000500043>
- Bisht B, Bhatnagar P, Gururani P, Kumar V, Tomar MS, Sinhmar R, Kumar S (2021). Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables—a review. *Trends Food Sci Technol* 114:372–385. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.002>
- Bustos, E. G. Organización Norteamericana de Protección a las Plantas. Irradiación fitosanitaria en el intercambio comercial México-Estados Unidos. https://www.nappo.org/application/files/3615/9422/6420/Emilia_Bustos-Griffin.pdf
- Camaraza Medina, Y. (2020). Introducción a la termotransferencia. La habana, Cuba: Editorial Universitaria de Cuba. <http://www.eduniv.cu/items/show/32670>
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones* / Yunus A. Çengel y Afshin J. Ghajar (4a. ed.). México D.F.: McGraw Hill. <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/Transferencia-de-calor-y-masa.-Fundamentos-y-aplicaciones-Cuarta-Edici%C3%B3n.pdf>
- Cheng D.K. (2007). *Fundamentals of Engineering Electromagnetics*, Addison-Wesley Co. USA. Consejo de Seguridad Nuclear, CSN.(2015). Las radiaciones. <https://www.csn.es/documents/10182/bb15bfe3-dcbf-4bac-84d5-37dce5db6f1d>
- Costa, H.C., Siguemoto E.S., Cavalcante, T.A.,Silvia D.D., Vieira L. G, Gut, J.A. (2020). Effect of microwave-assisted processing on polyphenol oxidase and peroxidase inactivation kinetics of acai-berry (*Euterpe oleracea*) pulp. 341. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128287>
- Definiciones, significados y traducciones en español | Lexico.com (2021). Obtenido de <https://www.lexico.com/>
- Deville, E.R., Flinn, P.C. (2000). NIRS: An alternative approach for the estimation of forage quality and voluntary intake. En: *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, Ed. D.I.Givens. R.F.E. Owen. H.M. Axford. CABI Publishing, UK. P301 <https://www.cabi.org/cabebooks/ebook/20001414403>
- Del juncal-G.D., Hernandez-Maldonado L.M., Sanchez-Burgos J.A., Gonzalez-Aguilar G.A., Ruiz-Valdiviezo V.M., Tovar J., Sayago-Ayerdi S.G. (2021). In vitro gastrointestinal digestion and colonic fermentation of phenolic compounds in UV-C irradiated pineapple (*Ananas comosus*) snack-bars. *LWT*, 138, art. no. 110636 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110636>
- Dieter, A.E. Ehlermann. (2016), Wholesomeness of irradiated food. *Radiation Physics and Chemistry*. 129:24-29. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.08.014>

- Ehling, S., Cole, S., & Barach, J. (2010). Food irradiation: an industry perspective. *Food Engineering & Ingredients*, 6+. <https://link.gale.com/apps/doc/A253447308/PPCA?u=uan&sid=bookmark-PPCA&xid=ec58f02>
- Erhan I., Nurcan C. (2021). Food safety and irradiation related sanitary and phytosanitary approaches-Chinese perspective. *Radiation Physics and Chemistry*. 181.p.109324. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109324>
- Esquivel, L. J., Alvarado C. R., Mota H. C., & Santos R., J. R. (2013). Efectos de la radiación no ionizante emitida por dispositivos inalámbricos. *Visión electrónica*, 7(2), 155-166. <https://doi.org/10.14483/22484728.5521>
- Farkas, J. & Mohácsi-Farkas, C. (2011). History and future of food irradiation. *Trends in Food Science & Technology*. 22, 121-126. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.002>.
- Fernández, Celeste, García, Magaly, Tineo, Ysmar, & Altomare, Vanessa. (2008). Efecto de la irradiación con microondas sobre las propiedades sensoriales de algunos productos cárnicos y marinos. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 31(Especial), 130-150. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000400016
- Ferreira, C. D., Lang, G. H., Lindemann, I., Timm, N., Hoffmann, J. F., Ziegler, V., & de Oliveira, M. (2021). Postharvest UV-C irradiation for fungal control and reduction of mycotoxins in brown, black, and red rice during long-term storage. *Food chemistry*, 339, 127810. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127810>
- Food and Drug Administration. (2016). Hechos sobre alimentos: La irradiación de alimentos. <https://web.archive.org/web/20201001173346/https://www.fda.gov/media/81266/download>
- Guo, Q, Sun D.W, Cheng, J.H. (2017). Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. *Trends in food science & Technology*, 67, 236-247. <https://doi.org/10.106/j.tifs.2017.07007>
- Handbook of Radioactivity Analysis (2012), edited by Michael F. L'Annunziata, Elsevier Science & Technology. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384873-4.00001-3>
- Indiarto, R.A, Qonit, M. A. H.(2020). Review of irradiation technologies on food and agricultural products. *International Journal of Scientific and Technology Research*. 9 (1), 4411-4414. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000400016&lng=en&tlng=es.
- International acceptance of irradiated food: legal aspects Colección Jurídica, No.11, OIEA, Viena (1979). <https://www.iaea.org/publications/3353/international-acceptance-of-irradiated-food-legal-aspects>
- International Atomic Energy Agency. (2015). Manual of good practice in food irradiation: Sanitary, phytosanitary and other applications. Vienna. <https://www.iaea.org/publications/10801/manual-of-good-practice-in-food-irradiation>
- Jan A., Sood M., Younis K., Islam R. (2020). Brown rice based weaning food treated with gamma irradiation evaluated during storage. *Radiation Physics and Chemistry*. Volume 177. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109158>.
- Käferstein, F. K., & Moy, G. G. (1993). Public health aspects of food irradiation. *Journal of public health policy*, 14 (2), 149–163. <https://doi.org/10.2307/3342961>
- Kobayashi Y. (2018) Food Irradiation: Radiation-Based Sterilization, Insecticidal, and Inhibition of Sprouting Technologies for Foods and Agricultural Produce. In: Kudo H. (eds) *Radiation Applications. An Advanced Course in Nuclear Engineering*, vol 07. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7350-2_15

- Kulsum J., Khalid B., Vaibhav K. M. (2020). Gamma Irradiation and Food Properties. Eds. Kai Knoerzer, Kasiviswanathan Muthukumarappan, Innovative Food Processing Technologies, Elsevier. (pp. 41-60). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.23052-7>
- Lima, F., Vieira, K., Santos, M., & de Souza, P. M. (2018). Effects of Radiation Technologies on Food Nutritional Quality. In A. V. Díaz, & R. M. García-Gimeno (Eds.), Descriptive Food Science. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80437>
- Mattioli, S, Ortezi R, Scuota S. Mancimelli A.C., Dal Bosco A., Cotozzolo E, Castellii & Castellini C. (2020). Impacto f ozone and UV irradiation sanitation treatments on the survival of Salmonella and the physical–chemical characteristics of hen eggs. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(2), 409-419. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.01.004>
- Medina Araujo, S. M., & Reyes Torres, P. J. (2002). Radiaciones ionizantes y efectos sobre la materia. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 12(1): 31-39. <https://doi.org/10.18359/rcin.1342>
- Nielsen K. (1987) Use of irradiation techniques in food packaging. In: Paine F.A. (eds) *Modern Processing, Packaging and Distribution Systems for Food*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8592-9_4
- Norma internacional general recomendada sobre alimentos irradiados y Código de práctica recomendado para la explotación de instalaciones de irradiación utilizadas para el tratamiento de alimentos. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Comisión del Codex Alimentarius, CAC/RS 106 - 1979, CAC/RCP 19-1979 . <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>
- Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA1-1993. Diario oficial de la Federación (1995). <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ssa1/ssa1033.pdf>
- Núñez-Lagos Roglá, R. (2011). La radioactividad ambiental. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 2(2): 50-61. <http://dx.doi.org/10.22335/rlct.v2i2.82>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. <https://www.iaea.org/es>
- Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, organización mundial de la salud, FAO-OMS. 2003. *Garantía de la Inocuidad y Calidad de los Alimentos: Directrices para el Fortalecimiento de los Sistemas Nacionales de Control de los Alimentos*. Roma: FAO, Estudio FAO Alimentación y Nutrición No. 76.
- Pan, Z., & Atungulu, G. G. (Eds.). (2010). *Infrared heating for food and agricultural processing*. ProQuest Ebook. Central <https://ebookcentral.proquest.com>
- Patras, A., Bhullar, M., Pendyala, B., & Crapulli, F. (2021). Ultraviolet Treatment of Opaque Liquid Foods: From Theory to Practice. *Ultraviolet Treatment of Opaque Liquid Foods: From Theory to Practice*. Innovative Food Processing Technologies, Elsevier. 182-209. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22941-7>.
- Prieto Miranda, Enrique Fco., Chávez Ardanza, Armando, Moreno Álvarez, Damaris, Rodríguez Cardona, Ramón, & Pérez Rivero, Bárbara. (2019). Aplicación de la tecnología de irradiación en Cuba. *Actualidad y perspectivas*. *Nucleus*, (66), 1-6. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-084X2019000200002
- Punathil, L., & Basak, T. (2017). Microwave Food Processing Applications: Modeling Investigations. *En Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21845-3>

- Raventós, S.M. (2005). *Industria alimentaria: Tecnologías emergentes* Politecnològic/Agroalimentaria. Universitat Politècnica de Catalunya. ISBN. 8798801524. https://books.google.com.mx/books/about/Industria_alimentaria.html?id=aPxoBQAAQBAJ&redir_esc=y
- Roberts, P. B. (2016). Food irradiation: Standards, regulations and world-wide trade, *Radiation Physics and Chemistry*. Volume 129, 30-34. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.06.005>
- Robichaud, V., Bagheri, L., Aguilar-Uscanga, Millette M., Lacroix, M. (2020). Efecto of γ -irradiation on the microbial inactivation, nutritional value, and antioxidant activities of infant formula. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 125 p. 109211. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109211>
- Rossi, L., Watson D., Escandarani, S., Miranda, A., & Troncoso, A. (2009). Radiation on the dining table. *Revista chilena de infectología*, 26(4), 318-330. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182009000500003>
- Schmelzer E, Jahnen W, Hahlbrock K (1988). In situ localization of lightinduced chalcone synthase mRNA, chalcone synthase, and flavonoid end products in the epidermal cells of parsley leaves, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 85 , 2989– 2993. <https://doi.org/10.1007/BF01322465>
- Steele James H. (2000). Food irradiation: A public health opportunity. *International Journal of Infectious Diseases*. 4, (2):62-66 [https://doi.org/10.1016/S1201-9712\(00\)90095-X](https://doi.org/10.1016/S1201-9712(00)90095-X).
- Swier T.L., Mukhim C., Bashir K., Rani S. Kamble D.B. (2021). Irradiation and Legal Aspects. *Innovative Food Processing Technologies*, Elsevier.108-121. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22994-6>.
- Thomas, P (1986). Radiation preservation of foods of plant origin. Part V. Temperate fruits: pome fruits, stone fruits, and berries. *CRC critical reviews in food science and nutrition*, 24:357-400. <https://doi.org/10.1080/10408398609527440>
- Urrutia, L.F. (1996). Uso de radiaciones ionizantes en la preservación de alimentos. *Revista de Extensión TecnoVet*. Años 2 N° 3. http://web.uchile.cl/vignette/tecnovet/CDA/tecnovet_articulo/0,1409,SCID%253D9399%2526ISID%253D446,00.html
- Wood O B, Bruhn C M. Position of the American Dietetic Association: food irradiation. *J Am Diet Assoc* 2000; 100: 246-53. [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(00\)00075-4](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(00)00075-4)
- World Health Organization. (1981) Wholesomeness of irradiated food: report of a joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Geneva, World Health Organization (WHO Technical. Report Series, No. 659). <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41508>
- World Health Organization. (1989). La Irradiación de los alimentos: una técnica para conservar y preservar la inocuidad de los alimentos. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/36940>
- World Health Organization. (1999). Informe sobre la salud en el mundo : 1999 : Cambiar la situación : mensaje de la Directora General. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/65478>
- Yahia, N.B., Ghorbal, S., Maalej L., Chatti A., Chinib, N., & Landoulsi, A. (2018). Effect of temperatura an gamma radiation on Salmonell Hadar Biofil Production on different food contact surfaces. *Journal of Food Quality*. 1-6. <https://doi.org/10.1155/2018/9141540>.
- Zuman Dou, Chun Chen, Xiong Fu. (2019). The effect of ultrasound irradiation on the physicochemical properties and α -glucosidase inhibitory effect of blackberry fruit polysaccharide. *Food Hydrocolloids*. Volume 96, Pages 568-576. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.002>