

MECANISMOS FISICOS Y BIOLÓGICOS
DE LA IRRADIACION DE ALIMENTOS*

ANTONIO FERNANDEZ MARTINEZ**

Resumen

En este artículo, después de definir la irradiación y describir los procedimientos usuales para la misma, se estudia la naturaleza de las radiaciones electromagnéticas gamma y su origen nuclear para poder demostrar que la irradiación no hace radioactivos a los alimentos y para conocimiento de la actividad de las fuentes. A continuación se señalan los conceptos químico-biológicos necesarios y se explica el mecanismo mediante el cual la radiación influye sobre las células orgánicas y los efectos ventajosos o perjudiciales que puede producir.

Palabras Claves: *Irradiación de alimentos, física, biología.*

La irradiación es un objeto de estudio muy amplio. Sus aplicaciones principales son las siguientes: inducción de mutaciones fitobiológicas sobre todo en plantas, esterilización de material médico y quirúrgico, irradiación de alimentos. Aquí sólo nos ocuparemos de la irradiación de alimentos, donde las potencialidades y necesidades son mayores: en el mundo se pierde en promedio el 20% de las cosechas durante el almacenamiento¹ y este porcentaje es mayor en los países del tercer mundo.

* Parte de una investigación financiada por el DIPC-INTEC.

** Facultad de Ciencias y Humanidades, INTEC.

Los procedimientos de irradiación más usados son los que utilizan como radiación los rayos gamma de Cobalto 60 o Cesio 137 y los que utilizan electrones acelerados. Por razones de simplicidad tecnológica en el mantenimiento de una instalación de irradiación nos inclinamos por las fuentes de rayos gamma cuando se trata de la instalación de un primer irradiador piloto en un país.²

Este tipo de fuente está constituido esquemáticamente por cierto número de placas del radioisótopo, de 1 mm de espesor, colocadas sobre un cilindro metálico. La potencia de la fuente depende fundamentalmente, además de su actividad, del número de cilindros así formados. Como las fuentes irradian permanentemente, deben ser blindadas cuando no están en uso y esto se hace generalmente sumergiéndolas en una piscina de agua.

Cuando las fuentes están en uso, fuera del agua, irradian dentro de un local de paredes blindadas donde están previamente los productos a irradiar o pasan éstos por el recinto sobre correas de transporte a una velocidad dada.

Otra parte del esquema del equipo consiste en el dispositivo de telecontrol sobre la fuente.

En el presente estudio trataremos primero de la radiación electromagnética, restringiéndonos a aquellos aspectos necesarios para el entendimiento del proceso de irradiación y para salir al frente a la idea equivocada, muy generalizada, de que la irradiación convierte en radioactivos a los alimentos.

Luego desarrollaremos con cierta amplitud el proceso de la irradiación en su aspecto químico-biológico y analizaremos los efectos que la irradiación produce sobre las moléculas orgánicas.

La Radiación Electromagnética

Los rayos Gamma⁵

Los rayos Gamma constituyen energía radiante en forma de onda electromagnética que corresponden, en el espectro electromagnético, a un rango de frecuencias desde 10^{19} hasta 10^{22} Hertz. Por tanto son mucho más energéticos que los demás componentes del espectro: ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, rayos ultravioletas y rayos

X. Están constituidos, como todas las ondas de este espectro, por campos eléctricos y magnéticos que oscilan perpendicularmente entre sí y en fase y que se propagan a la velocidad de 3×10^8 m/s.

Los rayos Gamma, al igual que todo el espectro electromagnético, tienen un aspecto ondulatorio y un aspecto corpuscular o fotónico.⁴ El carácter corpuscular se deriva de la cuantización de la energía de la onda. La energía de un fotón está dada por la relación:

$$E = hf$$

en que h es la constante de Planck y f la frecuencia de la radiación. Por esa dependencia de la frecuencia, la energía de un fotón gamma es del orden de los mega-electronvoltios (Mev).

Origen de los rayos Gamma⁵

La producción de rayos Gamma tiene lugar en el fenómeno de la radioactividad natural o artificial. Existen cerca de tres mil nucleidos radioactivos, en su mayor parte artificiales, es decir producidos en los reactores nucleares mediante bombardeo de neutrones. Un nucleido es radioactivo e inestable porque la energía de enlace por nucleón (la que se debe suministrar a un nucleido para arrancarle un protón o neutrón) es muy baja. La inestabilidad de un nucleido radioactivo se manifiesta en el fenómeno estadístico de emisión de partículas o radiaciones llamado desintegración o decaimiento.

Hay varios tipos de decaimientos. Los más frecuentes son el decaimiento alfa, beta menos, beta más, captura electrónica y gamma. En los tres primeros el nucleo emite partículas alfa, electrones y positrones respectivamente y el nucleido padre se transmuta en otro elemento de la tabla periódica. En la captura electrónica el nucleo capta un electrón de corteza y consecuentemente el nucleido cambia también de especie, pero no hay emisión nuclear. La ocurrencia de captura electrónica se detecta por efectos corticales del átomo: emisión de rayos X y electrones Auger, debidos a las vacantes electrónicas creadas y a las consecuentes transiciones.⁶

Cuando algunos de estos tipos de decaimiento resulta en un nucleido excitado (que no está en estado fundamental de energía), su desex-

citación ocurre generalmente mediante la emisión de un rayo gamma. Otra forma competitiva de desexcitación es el proceso de conversión interna en que la energía en exceso es cedida a un electrón de corteza.⁷

El proceso de desintegración radioactiva es estadístico (y obedece a la estadística de Poisson).⁸ El número de desintegraciones por unidad de tiempo $-dN/dt$ de una muestra de un nucleido dado es proporcional al número de núcleos presentes sin desintegrar en la muestra:

$$-dN/dt = \lambda N$$

La integración de esta sencilla ecuación diferencial conduce a la ley general de los procesos radioactivos:

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$$

en que $N(t)$ es el número de núcleos sin desintegrar para un tiempo t que se mide a partir de un tiempo inicial cero, N_0 es el número inicial, en el tiempo tomado como inicial, de núcleos sin desintegrar, λ es la constante de desintegración que se relaciona con la vida media T del nucleido (tiempo en que una población de núcleos se reduce a la mitad) por la relación:

$$\lambda = (\ln 2)/T$$

La ley de desintegración es importante para el cálculo de la vida útil de una fuente de irradiación como el Cobalto-60 o del Cesio-137.

La unidad tradicional de actividad radioactiva es el curio que equivale a 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo. La unidad científica es el becquerel que se define como una desintegración por segundo.

Interacción de la radiación con la materia⁹

En la irradiación, los rayos gamma interactúan con las moléculas orgánicas. Esta interacción, sea con moléculas orgánicas o inorgánicas, ocurre mediante tres mecanismos competitivos: la interacción fotoeléctrica, la interacción Compton y la creación de pares electrónicos.

Ninguna de estas interacciones afecta al núcleo de los átomos, sólo a los electrones corticales.

En el efecto fotoeléctrico, un fotón de la radiación es absorbido totalmente por un electrón ligado: el fotón desaparece y su energía es cedida al electrón, parte para que pueda desligarse del átomo y la parte restante queda como energía cinética del electrón afectado. Este proceso implica, pues, una ionización más o menos profunda del átomo.

En el efecto Compton el fotón sólo cede parte de su energía a un electrón libre produciéndose una ionización de última capa. El electrón adquiere energía cinética a costa del fotón, pero éste sobrevive con una energía y consecuentemente frecuencia menor y con una desviación de su trayectoria.

Cuando la energía del rayo gamma es suficientemente elevada, a saber, más de 2 veces la energía másica del electrón,

$$hf = 2(m_0c^2)$$

(en que m_0 es la masa del electrón y c la velocidad de la luz), puede ocurrir, en presencia de un campo atómico o nuclear, el tercer tipo de interacción, o sea, la creación de un par electrónico. En este proceso el fotón se aniquila y se crean dos partículas: un electrón y un positrón, ambos de igual masa pero con cargas de signos opuestos, negativa la del electrón y positiva la del positrón. El positrón tiene una vida media sumamente corta -del orden de nanosegundos- y se aniquila al interactuar con un electrón creándose generalmente dos rayos gamma que se propagan en sentidos opuestos.¹⁰

El temor de la radioactivación de los alimentos

Todo lo anterior tiene como fin demostrar que la irradiación mediante rayos Gamma no puede convertir en radioactivos a los elementos de la materia irradiada.¹¹ La radioactividad es fenómeno nuclear y la radiación sólo afecta a los electrones, que están en las capas corticales del átomo, no a los núcleos. De hecho, las energías necesarias para activar un núcleo, arrancarle algún nucleón y convertirlo eventualmente en radioactivo, son enormemente más grandes que las energías necesarias para arrancar un electrón de la corteza atómica y por tanto ionizar al átomo. Esto se debe a que las fuerzas nucleares que atan a los nucleones son de un orden $1E6$ veces mayores que las que ligan a los electrones en el átomo.

Algunos datos pueden ilustrar lo dicho. Bastan poco más de 13 electron-voltios (ev) para ionizar al átomo de Hidrógeno, o sea, para arrancarle su electrón. Sin embargo, el umbral de energía para activar un núcleo de oxígeno es de 16.3 millones de electron-voltios (Mev), para uno de carbono es de 18.7 Mev, un núcleo de potasio necesita 13.2 Mev, uno de fósforo 12.4 Mev.¹²

Por otro lado, hemos dicho que las fuentes radioactivas usadas en los irradiadores son el cobalto-60 o el cesio-137. El Co-60 emite en su decaimiento dos tipos de fotones gamma: un tipo de 1.17 Mev y otro tipo de 1.33 Mev. El Cs-137 emite fotones monoenergéticos de 0.66 Mev.¹³ Todas estas energías están muy por debajo del umbral de excitación nuclear para los elementos de que está compuesta la materia orgánica e inorgánica.

Nótese además que esto sigue siendo válido aunque la fuente sea muy potente. Una fuente de gran intensidad solo significa mayor número de fotones incidentes por unidad de tiempo, pero no aumenta la energía de los fotones individuales.

Tampoco el tiempo de irradiación o la dosis (energía de irradiación por unidad de masa) son significativos en este sentido. No hay efecto acumulativo en la energía fotónica. Un fotón no "espera" a que se le sumen más fotones para llegar al umbral de activación. O interactúa o sigue de largo.

Era necesario tratar minuciosamente este punto, porque el temor infundado de que la irradiación convierta en radioactivos a los alimentos es uno de los óbices más decisivos en el uso de este método de higienización y conservación tan estupendo. Porque al fin y al cabo, todos los beneficios de la irradiación se vienen al traste si los consumidores no aceptan los alimentos irradiados.

Por supuesto que la discusión anterior no nos exime de analizar otros efectos nocivos posibles de la irradiación sobre los alimentos. El hecho de que la irradiación produce un efecto ionizante sobre las moléculas de los alimentos, ¿no puede afectar su calidad nutritiva o el sabor del alimento? Incluso, ¿no puede convertir al alimento en tóxico o nocivo a la salud? La siguiente parte del trabajo aclarará estos aspectos, a la vez que explica por qué la irradiación es efectiva para la eliminación de insectos, parásitos y microbios y, por tanto, para la conservación de los alimentos.

Bioquímica de la irradiación

El efecto directo y primario de la irradiación -como ya hemos indicado- es la ionización de los átomos que componen las moléculas orgánicas. ¿Cómo afecta esta ionización a nivel molecular a las unidades fundamentales biológicas de los seres orgánicos, o sea a las células? Para

responder a esta pregunta tenemos que tomar prestados algunos conceptos biológicos esenciales sobre la estructura y función celulares.

Estructura de las célula y funciones.¹⁴

La célula es la unidad biológica de la materia orgánica. A la vez es la unidad constante de vida: toda célula nace de otra célula. Las células nuevas resultan de la división de células más viejas. El proceso completo de la división celular se llama mitosis.

La célula está limitada por una membrana. En el interior o citoplasma de la célula existe un punto más opaco llamado núcleo que es el responsable de la mitosis. La materia nuclear que interviene en el proceso de mitosis es la cromatina que aparece originalmente como gránulos o más bien como un esqueleto regular y denso de hilos espirales. Al transcurrir las distintas fases de la mitosis (profase, metafase, anafase, telofase) los hilos de cromatina se acortan, engruesan y dividen en estructuras separadas llamadas cromosomas. Al dividirse horizontalmente los cromosomas -alineados en el centro de la célula- y separarse, se forman los núcleos hijos. Estos se polarizan en extremos de la célula, la célula se estrangula y resultan dos células hijas.

Además del núcleo existen en la célula otras estructuras, a saber:

a) Las mitocondrias o cuerpos redondos o alargados que se presentan por docenas y que tienen una función química responsable de las transformaciones de energía.

b) Los órganos celulares.

c) El retículo endoplásmico que en su forma rugosa tiene un sinnúmero de ribosomas responsables inmediatos en parte de la síntesis de las proteínas en la célula.

d) El aparato de Golgi o conjunto de vasos o sacos con función secretora.

e) Los centríolos o cuerpos redondos que parece influyen en la formación de las fibras fusiformes que se adhieren a los cromosomas durante la mitosis.

f) Las vacuolas son simplemente vasos almacenadores de alimentos, de agua o de materiales de desecho.

g) Los lisosomas son partículas que encierran sustancias químicas de gran poder digestivo.

Células diferentes tienen también otros tipos de orgánulos, pero los mencionados son los más frecuentes.

La membrana celular limita la célula: permite la entrada y salida de ciertas sustancias e impide la de otras.

La célula a nivel molecular

Todo lo anterior no es suficiente para explorar la interacción entre la radiación y la materia viva. Recordemos que el resultado inmediato de la irradiación es la ionización de los átomos de que están compuestas las moléculas. Sólo analizando la célula a nivel mayor de profundización, a saber, a nivel molecular, se puede entender qué efecto produce la irradiación sobre la célula.

Las moléculas orgánicas

Con excepción del agua y de ciertos minerales, la mayor parte de las moléculas de la sustancia viva (o en general de los cuerpos orgánicos) son moléculas "orgánicas". Se define una molécula orgánica la constituida por átomos de carbono unidos entre sí y unidos a átomos de hidrógeno. No se excluye la presencia de átomos de oxígeno y eventualmente de otros elementos.

Las moléculas orgánicas más importantes para la vida son: los carbohidratos, las proteínas, los lípidos y los ácidos nucleicos.

a) Los carbohidratos están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno. La relación en átomos entre el hidrógeno y el oxígeno es de 2 a 1. Los carbohidratos más sencillos son los monosacáridos, a saber la glucosa, la galactosa y la fructosa que tienen las mismas fórmulas condensadas $C_6H_{12}O_6$, pero distintas fórmulas estructurales. La más importante en los organismos vivos es la glucosa. Los disacáridos como la sacarosa están formados por dos azúcares monosacáridos. Los polisacáridos, como la celulosa, el almidón y el glucógeno, están formados por muchos monosacáridos.

b) En las proteínas, la unidad básica la constituyen los aminoácidos de los que hay alrededor de 20 distintos: todos tienen tres grupos de enlaces iguales, a saber, un H, un grupo amino NH_2 y un grupo ácido $COOH$. El cuarto grupo, que es distinto en cada aminoácido, es el grupo radical R.

Las proteínas pueden contener varios centenares de aminoácidos. Una proteína se distingue de otra no solamente en los aminoácidos que contiene sino en la secuencia de los mismos: por eso existen miles de proteínas diferentes. Los químicos usan frecuentemente los términos péptido y polipéptido para describir una cadena de proteínas de menos de 50 aminoácidos y reservan el nombre de proteína para las cadenas de más de 50 aminoácidos.

Las proteínas se presentan como moléculas con dobleces y rizos. Muchos de los enlaces que mantienen doblada y enroscada a una molécula proteínica, son puentes de hidrógeno, que son débiles. Esto es importante porque explica los daños que pueden sufrir las proteínas debido a rompimiento de los puentes de hidrógeno cuando intervienen agentes externos como el calor (fiebre) o las radiaciones. Un ejemplo de proteína muy importante en el organismo es la hemoglobina.

c) Los lípidos incluyen las grasas y los aceites.

d) Los ácidos nucleicos, sobre todo el ADN y el ARN, son tan importantes para nuestro fin que exigen un tratamiento aparte. Se les llama las "moléculas maestras" porque gobiernan las funciones celulares más importantes como son la reproducción y la síntesis de las proteínas, en especial las enzimas.

Las moléculas maestras

La célula es un ente de eficiencia admirable en sus funciones. Las responsables inmediatas de las actividades celulares son las enzimas. Pero ¿dónde y cómo se producen las enzimas? ¿Qué mecanismo controla su producción y su actividad? Muchos experimentos, por ejemplo en acetabularias, demuestran que el núcleo sirve como centro del control celular: sustancias producidas en el núcleo pasan al citoplasma donde aparece su influencia. Por otro lado, especificando más, experimentos de irradiación sobre los genes han demostrado que por cada gene dañado en los individuos irradiados, sus descendientes mostraban deficiencia en una enzima específica.

Los cromosomas, donde están los genes o unidades de la herencia, están constituidos por proteínas y por ADN (ácido desoxirribonucleico). Los genes están compuestos de ADN. Por tanto, es el ADN la "molécula maestra" de la célula.

Se ha comprobado que la molécula del ADN consta fundamentalmente de tres unidades químicas: el grupo **fosfato**, la **desoxirribosa** (azúcar) y alguna de las siguientes **moléculas que contienen nitrógeno**, a saber, la adenina, timina, guanina y citocina.

La estructura del ADN es helicoidal de doble hélice, como una escalera de cuerda torcida. Los lados de la "escalera" están formados por unidades fosfato y azúcar. Los "escalones" están formados por bases nitrogenadas unidas entre sí en la parte media y con los fosfatos y azúcares en los extremos. Cada agrupamiento (fosfato, 2 bases nitrogenadas enlazadas, azúcar) constituyen un nucleótido. Hay cuatro nucleótidos distintos: citosina, guanina, adenina, timina. La citosina sólo aparece con la guanina. La adenina sólo enlaza con la timina. El enlace de esas bases en medio de cada escalón es un puente de hidrógeno, lo cual constituye el "punto débil" de la molécula del ADN.

Pero esa debilidad explica cómo la molécula de ADN es capaz de "hacer reproducciones exactas de sí misma", como corresponde a la unidad de la herencia. En efecto, si suponemos que el ADN está rodeado de nucleótidos libres, el rompimiento longitudinal de la escalera en los enlaces de hidrógeno, permite la incorporación de esos nucleótidos para crear dos moléculas idénticas del ADN.

Existe en la célula otro tipo de ácido: el ribonucleico o ARN. Se da tanto en el núcleo como en el citoplasma. El modelo de síntesis proteínica explica como el ADN, a través del ARN, es finalmente el responsable de las cadenas de polipéptidos que forman las proteínas, en particular las enzimas.

Efecto de la radiación sobre los componentes moleculares de las células

Como los enlaces de los átomos en las moléculas se hacen a través de los electrones periféricos y los rayos gamma ionizan a los átomos arrancándoles electrones, ya podemos intuir que la irradiación, precisamente por su efecto ionizante, afectará a los enlaces moleculares.

La importancia de profundizar en este punto es obvia. Los alimentos se irradian para conseguir tres fines posibles,¹⁵ que pueden ser en parte concomitantes: a) Desinfectar (¿cómo afectan los rayos gamma a los insectos y microorganismos que ya contaminan el alimento y que además a cierto plazo serán los responsables de la pudrición del alimento?); b) retardar la maduración de vegetales, bulbos o granos para fines

de almacenamiento y mercadeo (¿afectan tóxicamente los rayos gamma a los lípidos, carbohidratos, proteínas constituyentes de los alimentos irradiados que serán consumidos?; c) evitar la germinación, de bulbos por ejemplo, durante un almacenamiento prolongado (¿al actuar los rayos gamma sobre el ADN para conseguir este fin, no desvirtúan a los alimentos?)

En todos estos casos se trata de la acción de la radiación sobre moléculas orgánicas. Por tanto, para todos ellos valen los resultados que se han encontrado.

Efecto sobre los glúcidos, lípidos, proteínas y vitaminas.

Cuando la radiación gamma ioniza a los átomos, se pueden romper los enlaces y quedar libres los elementos o radicales separados: enseguida estos elementos y radicales o vuelven a juntarse regresando al estado inicial o formarán moléculas nuevas permanentes llamadas "productos de radiólisis". Sin embargo, a una dosis de irradiación de 10 kilograys (K Gy), que significa la incidencia de 1000 joules de energía radiante por cada kilogramo de materia y que es la dosis usual máxima permitida en la irradiación, se forman menos de 20 miligramos de productos de radiólisis en un kilogramo de alimento típico promedio. Un alimento típico promedio está constituido por 80% de agua, 6.6% de lípidos, 6.7% de glúcidos (carbohidratos) y 6.7% de proteínas. Los resultados de más de 30 años de experimentación (controlada entre otras entidades por el Organismo Internacional de Energía Atómica de las Naciones Unidas, OIEA) aseguran que no se presentan potencialidades tóxicas ni productos cancerígenos en los alimentos irradiados.¹¹ Solamente en alimentos muy abundantes en lípidos, como los alimentos lácteos, se desaconseja la irradiación, a no ser que se asocie a una congelación previa. La razón está en que la oxidación y los productos de radiólisis les dan un sabor y olor desagradables.

Específicamente, la ionización del agua produce un átomo de hidrógeno H y un radical OH muy reactivo. Este radical OH es el que suele iniciar los "problemas".

Sobre los lípidos el radical OH interacciona con un hidrógeno del lípido para formar agua y liberar un radical lípido reactivo R. Este interacciona con el oxígeno y da un radical óxido reactivo R-O-O. Por

fin, éste reacciona con una molécula del lípido y produce un hidroperóxido, que es el que da mal sabor y olor al lípido.

Sobre los glúcidos el efecto es totalmente anodino. El radical OH puede interaccionar con azúcar dando agua y un radical activo R, pero este reacciona con un H del medio y reconstituye la molécula de azúcar.

Sobre las proteínas en general el efecto es también casi nulo. Eventualmente pueden producirse modificaciones organolépticas pero que pueden evitarse o minimizarse por tratamientos complementarios.

Efectos sobre el ADN¹⁶

Este es el efecto más importante porque el ADN es el responsable del crecimiento de la célula y de su reproducción. Desde un principio hay que decir que el efecto de la irradiación sobre el ADN es devastador (por supuesto que la dosis mayor o menor servirá para controlar hasta que grado se quiere esa perturbación).

El efecto sobre el ADN se debe en un 70% a los radicales OH de la radiólisis del agua y en un 30% a la ionización directa de la molécula de ADN: según la dosis, los resultados son limitar la capacidad de reproducción de la célula, detener su desarrollo o incluso traer su muerte. Más específicamente, las posibles perturbaciones son : lesiones sobre una o sobre las dos hélices de la molécula, enlaces anormales entre las bases A, C, T, G (adenina, citocina, tiamina, guanina) que constituyen los "bits" genéticos. Esto trae como consecuencia que se anule la complementariedad de las bases (A con T, C con G) y se bloquee el mecanismo de reproducción.

Efectos terminales

Queda por responder la pregunta más importante: ¿son en definitiva buenos o malos los efectos que la irradiación produce sobre el ADN? La respuesta depende de lo que se pretenda.

Si se tienen almacenados bulbos o cereales para fines de sembradío, la irradiación sería desastrosa: suprimiría o disminuiría la capacidad germinativa de esos ítemes.

Si se quiere retardar la evolución de los alimentos para ganar tiempo de almacenamiento o mercadeo antes de consumirse (ise pueden conservar frutos irradiados para venderlos fuera de estación !) la irradiación es un medio estupendo para esos fines. Los alimentos estan constituidos

por células terminales (es decir, que ya no se reproducen) y células jóvenes o embrionarias. La acción sobre las células terminales no tiene trascendencia: su ADN ha dejado de actuar y por tanto no importa que sea perturbado. el hecho que se rompan moléculas tampoco tiene importancia porque en la digestión de los alimentos esas moléculas de todas formas deben romperse. Sobre las células jóvenes la acción será enorme: retardará las funciones reproductriz y de síntesis de proteínas y bloqueará la división celular. pero esto es precisamente lo que se persigue con la irradiación de este caso!

Si se piensa en el fin higiénico de la irradiación, obviamente que no nos preocupa que sean perturbados las moléculas de ADN de los insectos y microbios. Y en efecto, se reducirá por ejemplo el número de microbios tanto por los que sufren la muerte por la irradiación como porque se impide a los sobrevivientes su división celular y reproducción. No hay método más eficaz para estos fines. Y piénsese que esta acción puede ser vital para una región. Recuérdese como un insecto, la mosca del mediterráneo, fue capaz de devastar la cosecha de una región productora famosa como california. Y por supuesto que la eliminación de insectos y sobre todo miccroorganismos es parte de la ventaja buscada para dilatar la maduración y evitar la pudrición. Son los microorganismos los responsables de que los alimentos "se pongan malos".

Conclusiones

a) La irradiación es un método muy eficaz para conseguir la conservación de alimentos, su higienización y la inhibición de la germinación.

b) Es un método agil porque es masivo e incluso puede aplicarse a los alimentos en sus cajas de embalaje.

c) La irradiación de los alimentos ni los convierte ni los puede convertir en radiactivos.

d) La irradiación no presenta efectos nocivos tóxicos. Pero se desaconseja su aplicación a alimentos ricos en grasas.

e) Los efectos serios que la radiación gamma produce sobre el ADN sugiere una reflexión adicional: el personal que trabaje en un centro de irradiación debe estar bien informado de los efectos sobre las unidades biológicas de la herencia y la reproducción para saber utilizar concienzudamente los medios de protección radiológica.

f) Como en toda actividad, pero especialmente en el caso de una técnica sofisticada como la que exponemos, deben estudiarse, conocerse y respetarse las dosis adecuadas a cada tipo de alimento y apropiadas a fin que se pretende.

LITERATURA CITADA

1. Blackall, Gilliam. "Current Status of and Future Prospects for Food Irradiation". **SRI International** 6, 1987: 87-1120.
2. Sudarsan, P. "Techno-Economic and Commercial Feasibility of Food Irradiation with Special Reference to Developing Countries". **Food Irradiation Newsletter**, 7 (2), 1983.
3. Friedlander, Gerhart. **Nuclear and Radiochemistry**. 3rd Edition. New York, John Wiley and Sons, 1981, 93 p.
4. Liverhant, Salomon E. **Outline of Atomic Physics**. New York, Regents Publishing Co., 1966, 85 p.
5. Acosta V.; Cowan C.; Graham B. **Curso de la Física Moderna**. México, Editorial TEC-CIEN, Ltda., 1975, 337 p.
6. Grau A.; Fernández A. "Modelo de Cuatro Capas para Calcular la Eficiencia de Detección en Nucleidos que se Desintegran por Captura Electrónica Pura". **J.E.N.**, 5, 1985: 567.
7. Evans, Robley D. **The Atomic Nucleus**. 10th Edition. New York, McGraw-Hill, 1955, 218 p.
8. Tsoufanidis, Nicholas. **Measurement and Detection of Radiation**. Washington, Hemisphere Publishing Corporation, 1983, 42 p.
9. Knoll, Glenn F. **Radiation Detection and Measurement**. New York, John Wiley and Sons, 1977, 62 p.
10. Brandt, W. "Statistical Dynamics of Positrons in Solids". **Proceedings of the International School of Physics Enrico Fermi, Course 83**: 8, 1983.
11. Hatfield, Densie. "Irradiation Emerges as Processing Alternative". **Environment Nutrition Newsletter**, 12(8), 1985: 1.
12. Kaplan, Irving. **Física Nuclear**. 2da. Edición. Madrid, Aguilar, 1961, 447 p.
13. Weast, Robert C. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 65th Edition. Boca Ratón, Florida, CRC Press, Inc., 1985, B-320 p.
14. Smallwood, William L.; Green E. **Biología**. Sexta Edición. México, Publicaciones Cultural, S. A., 1976, 31 p.
15. OIEA. "Especificaciones y Métodos de Ensayo Microbiológicos para los Alimentos Irradiados". Viena, **Colección de Informes Técnicos**, No. 104, OIEA, 1970, 3 p.
16. Turner, James E. **Atoms, Radiation and Radiation Protection**. New York, Pergamon Press, 1986, 225 p.