

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

“TECNOLOGIA DE LA PRESERVACION DE  
ALIMENTOS POR IRRADIACION”.

TRABAJO MONOGRAFICO DE  
ACTUALIZACION  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
QUIMICA DE ALIMENTOS  
PRESENTA:  
CARMEN DARI ALMAZAN MENDOZA

MEXICO, D. F.

1998.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

26308Z



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente            Prof.: Luis Cabrera Mosqueda

Vocal                Prof.: Pedro Valle Vega

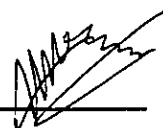
Secretario           Prof.: Marco Antonio León Félix

1er. Suplente        Prof.: Leticia Gil Vieyra

2o. Suplente        Prof.: Hugo Sousa Rojano

Sitio donde se desarrolló el tema: Facultad de Química, edificio "D", Departamento de Química Nuclear, UNAM.

Asesor del tema: M. en C. Luis Cabrera Mosqueda



---

Sustentante: Carmen Dari Almazán Mendoza



---

*Hermana semillita,  
dice un menudo grano a una pepita,  
descansaste mucho?,  
yo me siento muy bien aquí, a tu lado,  
mas oye con cuidado lo que hace tiempo que despierto escucho,  
canta la golondrina y a nosotros su canto se dirige,  
oyela bien, vecina,  
dice su voz sonora, ¡subid!, ¡subid! semillas que ya es hora,  
con el vestido verde, asomad vuestros tallos en la hera,  
que aviva el sol con sus bellos esplendores,  
y con sus risas, pájaros y flores,  
se acerca ya la madre primavera.  
Hermana semillita,  
dulce hermana,  
oíste la diana?,  
la oí,  
entiendes lo que dice?,  
le entiendo,  
y que piensas hacer?,  
me estoy vistiendo,  
cuando vas a salir?,  
saldre mañana,  
que flor serás?,  
... mirto,  
hay!, presiento que no podré mirar hacia tu altura,  
más tendré la ventura de hablar a las abejas de tu aliento,  
y allá irán susurrando más de un ciento para besar tu rostro soberano.  
Gracias. . . , gracias. . . , hermano,  
y tu, que flor serás?,  
yo. . . pensamiento.*

*GRACIAS, DIOS MIO.*

*(Homenaje a mi gran abuelo; padre, maestro y amigo)  
¡¡¡Siempre estarás en mi corazón!!!*

*AGRADEZCO:*

*Al M. en C. Luis Cabrera Mosqueda por su paciencia, por su muy valiosa y atinada dirección y ayuda para la realización de este trabajo de tesis.*

*Al honorable jurado.*

*A mi MADRE:*

*Por darme la vida.*

*Por su gran esfuerzo y dedicación. Por darme mucho más de los medios necesarios para llegar a ser lo que ahora soy.*

*Te dedico este trabajo, gracias por el gran legado que me has proporcionado.*

*!!!Eres ejemplar!!!.*

*A mis hermanos:*

*Magaly y Luisito. Por el cariño, apoyo y consejos que me han brindado.*

*A mis tíos:*

*Hilda, Elba, Jaime, Beto, Rafael, Raúl, Arturo. De quienes he aprendido mucho de sus cualidades.*

*A mis compañeros y amigos:*

*Que me brindaron momentos inolvidables, y que estuvieron siempre a mi lado disfrutando de tantos momentos tan agradables.*

*Finalmente,*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, y a mi querida Facultad de Química.*

## INDICE

### INTRODUCCIÓN

#### CAPÍTULO I

1.	Necesidades de Nuevas Tecnologías de Preservación de Alimentos	1
	Métodos de Preservación de Alimentos	
1.1	Métodos tradicionales	1
1.2	Métodos modernos	6
1.3	Métodos por irradiación	13

#### CAPÍTULO II

2.	Papel de las Bacterias y Parásitos en las Enfermedades Transmitidas por los alimentos	18
2.1	Incidencia	18
2.2	Etiología	20
2.2.1	Salmonella	20
2.2.2	Campylobacter	22
2.2.3	Listeria Monocytógenes	23
2.2.4	Escherichia Coli	24
2.2.5	Staphylococcus Aureus	25
2.2.6	Shigella	25
2.2.7	Yersinia Enterocolítica	26
2.2.8	Bacillus Cereus	26
2.2.9	Clostridium Perfringes y Botulinum	27
2.2.10	Vibrio Parahemoliticus, Cholera y Vulnificans	
2.2.11	Parásitos transmitidos por Alimentos	29

#### CAPÍTULO III

3.	Radiactividad	33
3.1	Radiactividad natural	33
3.2	Radiación ionizante	36
3.2.1	Interacción de la radiación electromagnética	39



## CAPÍTULO IV

4.	Conservación de Alimentos mediante el Empleo de Radiaciones y Naturaleza de la Resistencia de los Microorganismos a las mismas	41
4.1	Características de las radiaciones de interés en la conservación de alimentos	42
4.2	Principios en los que se basa la destrucción de microorganismos por irradiación	44
4.2.1	Cambios celulares	44
4.2.2	Factores a tomarse en cuenta en la radiación	44
4.3	Tratamiento de los alimentos antes de su irradiación	47
4.4	Radapertización, radacidación y radurización de alimentos	48
4.5	Naturaleza de la resistencia a la radiación de los microorganismos	54
4.5.1	Biología de la especies extraordinariamente resistentes	55
4.5.2	Mecanismos de resistencia aparentes	56

## CAPÍTULO V

5.	Radiación en los alimentos	58
5.1	Mecanismos de la radioconservación	58
5.2	Efecto en las proteínas	59
5.3	Efecto en los lípidos	60
5.4	Efecto en las vitaminas, minerales y enzimas biológicas	61
5.5	Cambios físicos y organolépticos	63
5.6	Cambios microbiológicos	64

## CAPÍTULO VI

6.	Breve historia	67
----	----------------	----

## CAPÍTULO VII

7.	Aplicaciones de la Irradiación de Alimentos	72
7.1	Radurización	72
7.2	Radacidación	74
7.1.2.1	Pescados	74
7.1.2.2	Mariscos	75

7.1.2.3Especies y condimentos	76
7.1.2.4Frutas y vegetales	77
7.1.2.5Granos, leguminosas y otros productos	80
<b>CAPÍTULO VIII</b>	
8. Puebas de Comestibilidad en Alimentos Irradiados	82
<b>CAPÍTULO IX</b>	
9. Análisis Costo-Beneficio del Tratamiento de Irradiación	94
9.1 Costos de irradiación	94
9.1.1 Costo-beneficio del procesos de irradiación	95
9.2 Energía utilizada en los procesos de conservación	96
9.3 Comparación costo-beneficio de algunos métodos de higiene de cárnicos	97
9.4 Análisis de costos de la irradiación de alimentos deshidratados	97
9.4.1 Comercialización del proceso de irradiación	98
9.4.2 Parámetros de costo	99
9.4.3 Parámetros del proceso	100
<b>CAPÍTULO X</b>	
10. Legislación Nacional	103
10.1 Licencia sanitaria	105
10.2 Registro sanitario	105
10.3 Tarjetas de control sanitario	106
10.4 Postura de la Secretaría de Salud frente a la irradiación de alimentos	106
<b>CAPÍTULO XI</b>	
11. Estado Actual y Futuro de la Irradiación de Alimentos	110
<b>CONCLUSIONES</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>APÉNDICE</b>	

## INTRODUCCIÓN

Las enfermedades transmitidas por alimentos contaminados, es uno de los problemas de salud pública que actualmente esta presente en todo el mundo, siendo quizá el problema más ampliamente diseminado y causa importante de una alta morbi-mortalidad, costos muy altos en atención médica y por lo tanto una reducción en la productividad económica.

El incremento y la frecuencia de las infecciones e intoxicaciones producidas por los alimentos se deben tanto a factores técnicos como a sociales propios de cada país.

Estas enfermedades que son causadas por alimentos, pueden disminuir si se aplican las correctas prácticas de higiene y sanidad en el procesamiento de alimentos, sin embargo, en alimentos crudos es difícil contar con un proceso que elimine o inactive los agentes biológicos, bacterias y parásitos principalmente, que causan enfermedades, sin que el alimento pierda sus cualidades sensoriales.

Los métodos tradicionales de preservación de alimentos como el térmico, adición de sustancias químicas, curado, ahumado, deshidratado, cocinado, asado, congelado y otros, son utilizados eficazmente, sin embargo, muchos microorganismos que pueden causar un daño a la salud resisten estos tratamientos.

La alternativa de proceso para preservar la calidad de los alimentos crudos, esto es tanto para controlar o eliminar los microorganismos indeseables, como para protegerlos de deterioro físico y químico, es el uso de la irradiación; este método tiene aplicaciones que otras tecnologías no pueden brindar.

Las posibilidades de aplicar las radiaciones ionizantes en los alimentos, se basan principalmente en el hecho de que éstas inhiben eficazmente la síntesis de DNA, de manera que reduce la división celular de microorganismos e insectos indeseables en los alimentos. Aplicando la dosis correcta se logra la reducción

bacteriana y se mantiene la calidad del producto, por consiguiente se puede impedir la reproducción de los microorganismos, gametos de insectos y meristemas de las plantas, logrando así prolongar la estabilidad del alimento tratado.

La mayoría de las aplicaciones de la irradiación de alimentos se han orientado hacia la prolongación de la vida útil de los productos perecederos antes de su deterioro. Lo cual hace que la irradiación sea un factor muy importante cuando se asocia al desarrollo de los países pobres, puesto que gran parte de sus economías dependen de la exportación de productos agropecuarios; es así como en Latinoamérica existen países en que las exportaciones agrícolas representan el 80-90% de la exportaciones totales del país (Ej: Costa Rica, Cuba, Nicaragua). Se estima que más del 30% de los productos que se comercializan en el mercado internacional provienen de países en vías de desarrollo, siendo los porcentajes aún mayores para café, té, cacao, especias (50-90%), langostinos (64%) y productos hortícolas (35%). En este caso, el uso de la radiación ionizante puede tener doble importancia: primero en cuanto a extender la vida útil y por ende el período de transporte, comercialización y consumo, y segundo permitiendo cumplir con las condiciones de higiene (Rubio 1991).

La aplicación industrial está apoyada en 40 años de investigación sobre alimentos irradiados; todo tipo de estudios se realizaron para comprobar la comestibilidad o inocuidad de estos productos. En 1980 un comité de expertos integrado por científicos de la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), Organismo Mundial de la Salud (OMS) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) recomendaron utilizar el proceso de irradiación a dosis de hasta 10 kGy; esta dosis fue elegida de acuerdo a los estudios que antecedieron a esta reunión cumbre.

El proceso de irradiación para la conservación de los alimentos es un método físico comparable con el calor o la refrigeración, el proceso consiste en

exponer los productos a granel o empacados a la radiación gamma proveniente de los radioisótopos Cobalto-60 que es el más utilizado o bien de Cesio-137, electrones acelerados o rayos X, obtenidos de una máquina eléctrica denominada acelerador. Los alimentos se exponen a esta forma de energía durante un tiempo determinado y en instalaciones denominadas irradiadores.

A nivel industrial, el proceso de irradiación requiere de un control bien establecido para lograr una buena calidad del producto.

En la presente tesis se realiza un análisis bibliográfico del conjunto de procedimientos y medios de la preservación de alimentos con radiaciones ionizantes, los motivos de aplicación, las ventajas y desventajas que presenta comparada con otros métodos de preservación, los cambios que induce en los componentes de los alimentos, los efectos, costos y algunos de los estudios realizados en diferentes tipos de alimentos para verificar su comestibilidad e inocuidad, las disposiciones legales y el posible impacto futuro de preservar alimentos por irradiación.

---

---

CAPÍTULO I

**NECESIDADES DE NUEVAS TECNOLOGÍAS  
DE PRESERVACIÓN DE ALIMENTOS**

---

---

## 1. Necesidades de Nuevas Tecnologías de Preservación de Alimentos

A través de la historia, el hombre ha sabido descubrir y aplicar métodos eficaces de conservación de alimentos. Sin embargo, en la actualidad a dichos métodos no sólo se les exige eficacia, sino que también estén disponibles a un costo competitivo con otros métodos y ser inocuos (demostrado a través de técnicas modernas de laboratorio).

Entre las alternativas a estudiar seriamente, para solucionar los graves problemas de la humanidad, como el que debido a la explosión demográfica mundial, no se pueda proveer a la población de una cantidad y calidad adecuada de alimentos para que puedan desarrollar totalmente su potencial genético o gozar de una salud aceptable, se encuentra el uso de la radiación ionizante (Rubio 1990).

### **Métodos de Preservación de Alimentos**

#### 1.1 Métodos Tradicionales

##### *Secado*

Los primeros antecedentes de este método de conservación son los agricultores prehistóricos, que en períodos lluviosos o nublados, transportaban algunas de sus cosechas al interior de cuevas donde las dejaban secar para evitar que se pudrieran.

El uso del calor de un fuego para secar alimentos fue descubierto independientemente por muchos hombres en el Nuevo y Viejo Mundo. El enlatado y la deshidratación como métodos de conservación de alimentos aparecieron, aproximadamente, al mismo tiempo hace casi siglo y medio (IAEA 1977).

El agua es el material siempre presente en los alimentos, y en la mayoría de ellos, es el constituyente de más alta concentración.

La presencia de agua en los alimentos y su concentración determina en alto grado sus propiedades organolépticas y su digestibilidad, así como la estructura física de estos materiales (Desrosier 1977).

Todos los procesos deteriorativos que tienen lugar en los alimentos están influenciados por la concentración y movilidad del agua en éstos. Independientemente de la composición de los materiales alimenticios, a altas concentraciones de agua, el deterioro es causado por crecimiento y desarrollo de bacterias y mohos y por reacciones enzimáticas o no enzimáticas. A bajas concentraciones de agua, la descomposición de los alimentos es causada principalmente por reacciones autooxidativas y por deterioro físico (Desrosier 1977).

Los alimentos son más estables a bajas que a altas concentraciones de agua. El potencial del agua para tomar parte en los procesos deteriorativos se caracteriza por la actividad del agua ( $a_w$ ) en el producto.

La actividad del agua de cualquier producto depende de la composición química de éste, el estado de agregación de sus constituyentes, el contenido de agua y la temperatura del producto.

Los alimentos pueden secarse en aire, vapor sobrecalentado, en vacío, en gas inerte y por la aplicación directa del calor. Generalmente se utiliza el aire como medio secador, para conducir el calor al alimento (Farkas 1981).

Un alimento deshidratado debe competir en precio con otros tipos de alimentos conservados. Tener un sabor, olor y apariencia comparable con el producto fresco o con productos procesados por otros medios, reconstituirse fácilmente, retener los valores nutritivos y tener una buena estabilidad en almacenamiento (Frazier 1976).

El valor biológico de las proteínas secadas depende del método empleado. Las exposiciones prolongadas a altas temperaturas pueden hacer las proteínas menos útiles en la dieta. Los tratamientos a bajas temperaturas pueden aumentar la digestibilidad de las proteínas sobre el material nativo.



La rancidez representa un problema en los alimentos secados. La oxidación de las grasas es mayor a altas que a bajas temperaturas de deshidratación. Se pueden proteger las grasas si se añade un antioxidante (Canadian 1977).

Las frutas sufren su principal deterioro en los carbohidratos. También es posible la decoloración debida al empardecimiento enzimático o a reacciones de caramelización de los azúcares. Los tejidos animales contienen menores cantidades de carbohidratos, por lo que sus deterioros son menos importantes, excepto en la leche y en el huevo.

Los productos alimenticios en un tiempo o en otro están en contacto con el suelo y con el polvo, por lo que los microorganismos estarán activos siempre que las condiciones del medio lo permitan. La cantidad de humedad en el alimento establece cuales microorganismos podrán crecer, los mohos crecen en sustratos alimenticios con humedad al 12% y algunos con menos de 5% de humedad. Las bacterias y las levaduras requieren humedad sobre el 30%. Se emplea comúnmente cloruro de sodio junto con la deshidratación porque controla el crecimiento de los microorganismos (Frazier 1976).

El estado de los alimentos cambia sus propiedades físicas y químicas y puede esperarse que altere sus habilidades para reflejar, dispersar, absorber y transmitir la luz, y por tanto, modifica su color. Los carotenoides se alteran en la deshidratación. Las antocianinas son dañadas con el tratamiento de secado. Los pigmentos naturales verdes de las plantas superiores son una mezcla de clorofila a y clorofila b. La retención del color verde de la clorofila se relaciona directamente con la retención de magnesio en las moléculas del pigmento. En condiciones de calor y humedad, la clorofila es convertida en feofitina por pérdida de parte de su magnesio. Un medio circundante ligeramente alcalino controla positivamente la transferencia de magnesio (Canadian 1977).

## *Fermentación*

Fermentación es el nombre aplicado a una cierta clase de reacciones químicas, llevadas a cabo en sustratos orgánicos gracias a la actividad de microorganismos.

Las sustancias afectadas en los sustratos orgánicos por las enzimas producidas por los microorganismos, pueden ser carbohidratos, proteínas o grasas u otro tipo de material orgánico (Mitchel 1978).

Si bien casi todos los procesos de preservación de alimentos se basan en la destrucción de los microorganismos, o en la inhibición de su desarrollo, ciertos alimentos provienen precisamente de la acción de microorganismos.

Los microorganismos utilizados en las fermentaciones son notables por su habilidad para producir endoenzimas y exoenzimas. Los mohos, las levaduras y las bacterias pueden secretar una amplia variedad de enzimas, ya que todas las funciones de crecimiento, reproducción, digestión, etc., distribuidas entre numerosos tejidos y órganos en plantas superiores y animales, están concentradas en una célula individual.

De esta manera, el tipo específico de fermentación producida por un organismo en particular, depende de las enzimas que produzca.

Hay muchas acciones fermentativas posibles en los alimentos que actúan en detrimento de la aceptabilidad de los mismos. Generalmente, los microorganismos capaces de degradar polímeros como la celulosa, hemicelulosa, pectina y almidón, dañan la textura, el sabor y la calidad de los alimentos tratados.

La conservación de nutrientes en los alimentos fermentados es casi igual que la de otros métodos de conservación de alimentos. Los carbohidratos usualmente son convertidos a ácido o alcohol, pero éstos también son de valor nutricional. Los alimentos así tratados, contienen otros nutrientes en cantidades adecuadas, si se les compara con los sustratos perecederos originales. En algunos casos, los niveles de nutrientes se ven elevados por la presencia de levaduras (Desrosier 1977).

## *Concentrados de Azúcar*

La combinación de grandes cantidades de azúcar con frutas tiene un efecto preservativo, pero este método de conservación se desarrolló principalmente debido al sabor de los productos y no por sus efectos de prevención contra la descomposición.

Se puede definir un concentrado de azúcar como un producto semisólido fabricado con la combinación de al menos 45 partes de fruta convenientemente preparada con 55 partes de azúcar (mermelada). Las jaleas de modo similar, son el resultado de la combinación de 45 partes de jugo de fruta clarificado con 55 partes de azúcar (Furia 1981).

Se puede usar cualquier cantidad de dextrosa o azúcar invertido como endulzante.

Tanto las jaleas, como las mermeladas, pueden contener cantidades razonables de pectina, ácido cítrico, málico o tartárico y una sal buffer del ácido utilizado (Desrosier 1977).

La mayoría de las jaleas y mermeladas se fabrican actualmente en recipientes al vacío, con el fin de que las temperaturas de ebullición sean más bajas, y así, tener menores daños en el color y sabor de las frutas.

Aunque el alto contenido de azúcar de estos productos tiene un efecto preservativo contra los microorganismos, subsiste el peligro de infección. El pH y la actividad de agua bajos previenen la acción bacteriana, pero el 68% de sólidos no es una garantía contra el crecimiento de algunos mohos y levaduras, los cuales pueden desarrollarse aún después de cerrado el frasco, si en la superficie del producto existe la suficiente humedad. Este es el caso del *Aspergillus glaucus*, el cual requiere un calentamiento a 74°C durante 20 minutos para eliminarse (Desrosier 1977).

## 1.2 Métodos Modernos

### *Refrigeración*

El metabolismo de los tejidos vivos, es una función de la temperatura del medio ambiente. Los organismos vivos tienen una temperatura óptima de crecimiento. Las temperaturas cercanas al punto de congelación del agua son efectivas para reducir la velocidad de respiración de dichos organismos, y estas temperaturas son importantes en la conservación de los alimentos, por corto tiempo (Fennema 1976).

El hielo se ha usado desde los primeros tiempos para prolongar la vida de almacenamiento de los alimentos. Si la temperatura del sustrato agua-alimento, es igual a aquella en que los microorganismos pueden multiplicarse, el alimento se deteriora rápidamente. Esto hace que la refrigeración mecánica tenga muchas características deseables.

La refrigeración puede hacerse trabajando directamente sobre el alimento o el sistema de refrigeración puede enfriar una salmuera, la cual a su vez es empleada para enfriar.

En los cuartos de almacenamiento debe controlarse la temperatura, pues las variaciones pueden ser perjudiciales, éstas pueden prevenirse si los cuartos de almacenamiento están convenientemente aislados.

Algunos alimentos tienen una velocidad de respiración mucho mayor que otros a una temperatura dada, por lo que su almacenamiento en cuartos fríos requiere más capacidad de refrigeración. Para establecer ésta capacidad, se requiere conocer la temperatura inicial del alimento, la temperatura final de almacenamiento, la velocidad de respiración y el calor desprendido, el calor específico del alimento y la cantidad de alimento a almacenar. Si se bajara la temperatura del alimento a la temperatura de almacenamiento instantáneamente, la carga de calor que se obtendría de multiplicar el calor específico del alimento por el número de grados que se bajaría la temperatura por las libras del alimento, y el valor resultante sería dado en BTU (unidad térmica británica). Un BTU es igual a la

cantidad de calor requerida para calentar una libra de agua un grado Fahrenheit (Gabor 1981).

El valor en BTU obtenido del cálculo anterior es llamado "calor sensible".

Con la práctica, el enfriamiento no es instantáneo, este cálculo debe ser incluido al igual que el tiempo de almacenamiento.

El almacenamiento frío tiene efectos sobre la calidad, entre los cuales se pueden citar los siguientes:

- Se retardan los procesos vitales en el alimento lo que resulta en un período mayor de tiempo en que el alimento es aceptable para el consumo humano.
- Algo de la actividad vital es usada por el almacenamiento de tejidos, por lo que después de un largo período, en frutas por ejemplo, no se tendrá la misma calidad que en frutas cosechadas recientemente (Desrosier 1977).

### *Congelación*

Los sistemas hielo-sal fueron utilizados para congelar alimentos en la mitad del siglo XIX y la invención de la refrigeración mecánica al final de dicho siglo, proporcionó la base para la explotación comercial del proceso (Gabor 1981).

Las células vivas contienen dos tercios o más de su peso en agua. En este medio hay sustancias orgánicas e inorgánicas como: sales, azúcares y ácidos, en soluciones acuosas y también proteínas que se encuentran en suspensión coloidal. También en algún grado están disueltos en la solución acuosa.

Se sabe que el punto de congelación de un líquido es aquella temperatura a la cual el líquido está en equilibrio con el sólido. El sistema debe ser enfriado a una temperatura a la cual la solución y el solvente sólido tengan la misma presión de vapor. El punto de congelación de una solución es más bajo que el de un solvente puro como el agua.

Debido al contenido de agua de la mayoría de los alimentos, la mayor parte de ellos congelan sólidamente a temperaturas entre  $-4$  y  $-1^{\circ}\text{C}$ . La temperatura del alimento bajo la congelación permanece relativamente constante hasta que el

alimento está congelado en su mayor parte, después de este tiempo, la temperatura se aproxima a la del medio congelador.

Acerca de la influencia de la congelación sobre los microorganismos puede mencionarse que los organismos fermentadores y los mohos son capaces de crecer a temperaturas mucho más bajas que aquellas que permiten el crecimiento de bacterias. La congelación lenta perjudica a la población microbiana. Las formas más susceptibles de microorganismos son las células vegetativas, las esporas no son dañadas por la congelación.

En cuanto al efecto sobre las proteínas, existe la posibilidad de la desnaturalización durante el proceso, y puede observarse coagulación si se efectúan congelación y descongelación repetidas.

La actividad enzimática solamente es retardada durante el proceso, por las temperaturas de congelación.

También es probable la oxidación de los lípidos, en especial las emulsiones aceite en agua o agua en aceite pueden volverse inestables por congelación, lo que es serio en alimentos precocinados.

El almacenamiento de los productos congelados sin paquete protector, provoca la oxidación y destrucción de muchos nutrientes, incluyendo las vitaminas (Desrosier 1977).

### *Enlatado*

A fines del siglo XVIII, Nicolás Appert, confitero francés, inventó un proceso que llamó "El Arte de la Appertización", pues observó que el alimento calentado en recipientes sellados era conservado si el recipiente no era reabierto o el sello no era roto. Hacia 1823 se inventó una lata con un agujero en la parte superior, permitiendo que el alimento fuera calentado en baños de agua hirviendo con el agujero cubierto con una tapa suelta, la tapa era soldada en su lugar después del tratamiento térmico. En 1820, aparecieron enlatadores en las ciudades de Boston y Nueva York, y para 1840, se extendieron a todo Estados Unidos (Desrosier 1977).

El proceso de enlatado comercial consta de las siguientes etapas:

- Recepción de productos primarios
- Preparación del producto: lavado, clasificado, mondado, aderezado, cortado, deshuesado, etc.
- Llenado de los recipientes de alimentos
- Hacer el vacío de los recipientes llenos
- Proceso térmico y posterior enfriamiento de los recipientes
- Almacenamiento de los alimentos enlatados

Todos los productos deben ser revisados antes de introducirse en las latas.

Las latas deben lavarse con máquinas especiales, antes de llenarse.

El constituyente sólido debe llenar la lata lo más posible, sin dañar sus piezas, y el líquido se empleará solamente para llenar los intersticios y remover la mayor cantidad posible de aire.

El vacío se produce calentando la lata llena en vapor o agua caliente por varios minutos para expulsar el aire y también se consigue elevar considerablemente la temperatura del contenido. También puede llevarse a cabo por medio de una máquina que cierre la lata al mismo tiempo que extrae el aire por medio de una bomba. La lata es sellada mientras la bomba está trabajando.

Todas las latas deben marcarse con alguna clave, de modo que pueda conocerse el producto que contiene y la fecha de empaque.

Las latas deben seguir un proceso de sellado tal que permita que sus extremos permanezcan cóncavos bajo las condiciones normales de almacenamiento comercial, no obstante la temperatura o altitud a que se encuentren (Fennema 1976).

La temperatura del contenido de cada lata al momento de sellarse debe ser de al menos 54°C. Esta temperatura debe ser suficiente para destruir al organismo de mayor resistencia al calor conocido, y cuya persistencia sea peligrosa para la salud del consumidor.

Los alimentos tienen microfloras asociadas, ciertos organismos se asocian con grupos particulares de alimentos, entran a estos durante la operación de enlatado, ya sea del suelo, de los ingredientes o del equipo. En los alimentos con pH mayor de 4.5 son importantes las bacterias mesofílicas formadoras de esporas

anaerobias, por ejemplo el *Clostridium botulinum* y el *Clostridium sporogenes*, ésta última es más resistente al calor que la primera, por lo que sirve para evaluar la efectividad de los procesos térmicos. También existe formación de esporas de organismos termofílicos.

Para esterilizar adecuadamente los alimentos enlatados, es necesario conocer el tiempo y la temperatura requeridos, lo que involucra además de la destrucción de bacterias por calor, la velocidad de penetración de éste, la conductividad térmica de los recipientes y su contenido.

### *Conservación por medio de Aditivos Químicos*

Se ha definido un aditivo químico como "la sustancia o mezcla de sustancias, diferente del alimento básico, presente en éste como resultado de procesos como: producción, procesado, almacenamiento o empaçado. El término no incluye contaminantes ocasionales".

Los aditivos pueden ser de dos tipos: intencionales y no intencionales (Furia 1981). Los intencionales o directos son añadidos a propósito para una función específica de acuerdo a ciertas disposiciones legales.

Los aditivos no intencionales se encuentran en la práctica en los productos agrícolas en cantidades aceptables. Se incluyen en esta categoría, los radionúclidos, material del agua utilizada en la preparación de los alimentos y residuos sucios como excretas de insectos y partes de éstos. En general se definen como contaminantes necesarios del entorno (Furia 1981).

#### 1. Enzimas

Son factores importantes en la tecnología de alimentos. Los principales enzimas de aplicación industrial son:

Carbohidrasas, pectinasas, celulasas y hemicelulasas, proteasas, catalasas, y enzimas saborizantes (Furia 1981).



## 2. Vitaminas

Su adición tiene propósito nutricional principalmente, excepto el ácido ascórbico, carotenoides y tocoferol.

## 3. Aminoácidos

El más empleado es el glutamato monosódico como potenciador de sabor.

## 4. Antimicrobianos

Se consideran aquellas sustancias que, al añadirse a los alimentos, previenen o retardan su deterioro, por lo que también se les conoce como preservativos químicos. No entran dentro de esta clasificación los preservativos naturales, que son: la sal de mesa, azúcar, vinagre, especias y aquellas sustancias que se incorporan al alimento durante la exposición de este al ahumado natural.

## 5. Antioxidantes

Los antioxidantes utilizados comúnmente, son efectivos en la prevención de la rancidez, menos útiles para evitar la polimerización y no pueden prevenir la hidrólisis, que frecuentemente es enzimática, ni la reversión.

## 6. Acidulantes

Su utilización obedece a varios propósitos:

Agente buffer, preservativo, sinergista, modificación de viscosidad, agentes ablandadores, y agentes de curado.

## 7. Secuestrantes

Son agentes quelantes. Ayudan a estabilizar, mantener y mejorar la integridad de muchos productos alimenticios. Sirven para estabilizar propiedades como color, sabor y textura. Reaccionan con los metales para formar compuestos y dependiendo de la estabilidad de éstos, alteran las propiedades y efectos del metal en el sustrato alimenticio. Muchos se encuentran naturalmente en los alimentos.

## 8. Gomas

Son polisacáridos o polisacáridos modificados de ocurrencia natural que al dispersarse tanto en agua fría como en agua caliente, producen soluciones viscosas. De hecho, la principal cualidad de las gomas y por lo que son ampliamente utilizadas es su propiedad de producir una alta viscosidad aún cuando se disuelvan a bajas concentraciones. De esta manera, son capaces de estabilizar suspensiones, producir emulsiones y crear geles de rigidez controlada. Pueden ser exudados de algunas plantas como la goma arábica, la goma de ghatti y la goma karaya. También pueden ser producto de algas marinas como el agar o ser polisacáridos producidos por la fermentación de algunos organismos como Xanthomonas como la goma de xantano.

## 9. Almidón

Es una fuente de carbohidratos. Se utiliza como auxiliar en el procesamiento de alimentos por sus propiedades espesantes y debido a que actúa como estabilizador y modificador de la textura del producto (Furia 1981).

## 10. Agentes surfactantes

Los compuestos surfactantes poseen un grupo hidrofílico (polar), y otro hidrofóbico (no polar), y se absorben en la superficie de la solución, lo que reduce la tensión superficial. Los surfactantes orientan la parte polar hacia la fase acuosa de la solución y las cadenas de hidrocarburos a la fase gaseosa no polar. Al aumentar la concentración de surfactante, las moléculas se absorben como una monocapa hasta llenar la superficie. A concentraciones mayores, las moléculas adicionales de surfactante forman estructuras organizadas, micelas, en la solución.

Estas propiedades son particularmente importantes en la creación de emulsiones alimenticias.

## 11. Polioles

Son alcoholes polihídricos. Tienen diferentes aplicaciones.

## 12. Saborizantes

Tienen tres aplicaciones generales: impartir sabor, completar o modificar un sabor propio y cubrir o enmascarar un sabor original.

## 13. Potenciadores de sabor

Son compuestos que añadidos a los alimentos desarrollan en estos, sabores deseables o suprimen sabores indeseables. No tienen sabor por sí mismos pero en pequeñas cantidades generalmente desarrollan sabores favorables en los alimentos.

## 14. Edulcorantes no nutritivos

Se utilizan principalmente en la industria de bebidas de bajas calorías.

## 15. Colorantes

Los colorantes naturales utilizados en el procesado de alimentos, están exentos de certificación.

Se han aprobado por la FDA tres carotenoides sintéticos: beta-caroteno, beta-apo-8-carotenal y cantazina, entre otros compuestos sintéticos (Furia 1981).

## 16. Fosfatos

Son aniones altamente cargados. La adición de ciertos fosfatos, incrementa la capacidad de retener agua de las carnes crudas y cocinadas. Se utilizan en la producción de embutidos, curado de jamones y para reducir la pérdida de humedad en aves y pescados.

## 1.3 Métodos por Irradiación

Aparte de las conservas envasadas, el proceso de irradiación es el único método artificial de preservación de alimentos perfeccionado hasta el presente.

Rápida, económica y eficazmente, sin aumentar la temperatura interna más que en pocos grados, la radiación ionizante puede preservar los alimentos por inhibición o destrucción de bacterias y otros microorganismos (Van Kooij 1979).

La radiación actuando velozmente sobre las sustancias alimenticias, ioniza algunos átomos y altera la estructura de vitales moléculas grandes provocando la muerte de microorganismos.

Sin embargo, los alimentos no sufren efectos nocivos ni se toman radiactivos, con la ventaja de que las dosis reducidas de radiación producen menos pérdidas de vitaminas que los procesos de conserva, congelación o deshidratación (Teufel 1981).

Algunas vitaminas se destruyen si se aplican dosis más elevadas de radiación, pero pueden ser reemplazadas, como suele hacerse en otros tratamientos de preservación.

La conservación por irradiación se efectúa por dos maneras:

- 1) Pasteurización. que se consigue administrando dosis reducidas y
- 2) Esterilización, por medio de dosificaciones más altas. Los alimentos pueden irradiarse por el bombardeo con electrones, rayos X, rayos gamma o rayos ultravioleta.

La cantidad de radiación suministrada depende de la clase de alimentos y de los resultados que se deseen. Si el propósito es prolongar la vida de los mismos, es decir, su período de almacenamiento útil, una dosis de pasteurización entre 2 y 5 kGy es suficiente. Si se desea esterilizarlos para almacenar por largo tiempo sin refrigerar, la dosificación debe aumentarse a 20-45 kGy (Teufel 1981).

El desarrollo potencial y la utilización de la esterilización por irradiación, ofrece un método de "esterilización fría" por medio del cual pueden ser conservados los alimentos sin cambio marcado en su carácter natural.

Existen por lo menos cinco distintas áreas de aplicación para el procesado de alimentos por irradiación.

1. La aplicación de dosis limitadas de radiación para prolongar la vida de almacenamiento de productos del mercado, tales como carnes cortadas, pescado, frutas y hortalizas frescos (Teufel 1981).

2. La destrucción de insectos en varias etapas del ciclo de vida en los productos alimenticios, es factible con radiaciones ionizantes. Puede realizarse la desinfestación de los productos empacados.

3. Los procesos de crecimiento de los tejidos vegetales son sensibles a la radiación, por ejemplo, la inhibición de brotes en papas y cebollas.

4. Las radiaciones ionizantes tienen utilización potencial como operaciones unitarias en las industrias alimenticias, por ejemplo, preparación de soluciones estériles de enzimas, hidrólisis de grandes moléculas, suavización de la carne, mejoramiento de los métodos de tostado para café y añejamiento de los vinos.

5. Destrucción de parásitos en los alimentos del hombre y la destrucción de los microorganismos envenenadores de los alimentos.

Debido a que los costos de irradiación de alimentos dependen del nivel o dosis de irradiación utilizada, es de interés general bajar las dosis. Además de reducir los costos, también descienden los cambios organolépticos indeseables en los alimentos irradiados. De esta manera, existe un gran interés en combinar la irradiación de alimentos con otros métodos de preservación para mejorar el gusto, textura y olor de los alimentos, su calidad bacteriológica, su seguridad biológica, reducir los costos y la energía.

Una de las formas más efectivas de utilizar la irradiación para controlar la descomposición de los alimentos sin afectar adversamente sus cualidades organolépticas normales, es combinarla con un ligero tratamiento por calor. En el International Symposium on Combination Processes in Food Irradiation, organizado conjuntamente por la IAEA y la FAO en Colombo, por invitación del gobierno Sri Lanka, del 24 al 28 de noviembre de 1980, se reportaron resultados muy promisorios de esta combinación, por ejemplo, previniendo la contaminación por mohos en el cacao almacenado en un ambiente tropical con alta humedad relativa o en la eficiente desinfestación de dátiles. La combinación de sumergir en agua caliente y después irradiar frutas tropicales como mangos o papayas, ha sido estudiado a nivel piloto en Sudáfrica y a nivel de investigación en México y otros países (Vas 1981).

Podría citarse el caso de las especies cuyo procesado convencional es inadecuado para llenar los estándares higiénicos, especialmente de las naciones importadoras. La microflora que sobrevive la irradiación es altamente sensible al calor.

En algunos casos la aplicación combinada de preservativos inobjetable toxicológicamente como el sorbato y un tratamiento de irradiación, puede extender considerablemente la vida de anaquel de algunas mercancías para de este modo, permitir su distribución más extensa. La estabilidad en el almacenamiento y distribución del pescado puede ser altamente incrementada a través de un proceso consistente en sumergir en tripolifosfato y bajas dosis de irradiación (Vas 1981).

Muchos derivados de la carne y de aves de corral han sido esterilizados en los Laboratorios Natick de los Estados Unidos por la combinación de aditivos convencionales, ligeros tratamientos con calor e irradiación, y pueden ser almacenados durante años sin refrigerar.

La esterilización por irradiación de carnes curadas permite la completa eliminación o drástica reducción de los nitritos (Vas 1981).

La combinación de irradiación con tratamiento calorífico suave para carnes, aves y pescado puede ser de gran beneficio futuro, sobre todo en los países en desarrollo, donde se utiliza gran cantidad de energía. Para la esterilización por irradiación, los alimentos pueden cocinarse levemente para inactivar las enzimas, fritos o preparados de la manera preferida por el consumidor, luego empacados en una bolsa de aluminio laminado y después, esterilizados por irradiación en dosis de 10 a 50 kGy. Estos nuevos productos pueden ser procesados en un mismo lugar, y no requerir de un sistema de refrigeración de alta tecnología. Este alimento puede ser preservado de la descomposición durante el almacenamiento de una manera compatible con la infraestructura de muchos países en desarrollo.

Después de pruebas exhaustivas sobre la seguridad de los alimentos irradiados, no se han detectado efectos perjudiciales ni existe evidencia de que el valor nutricional sea afectado de una manera importante.

Sin embargo, existen efectos significativos sobre algunas vitaminas, que no son tan grandes como en los alimentos tratados con calor. La combinación de tratamientos puede agravar o aminorar estos efectos. Si la irradiación se lleva a cabo a bajas temperaturas o en empaques libres de oxígeno o en presencia de antioxidantes, pueden minimizarse las pérdidas de vitaminas (Teufel 1981).

---

---

CAPÍTULO II

**BACTERIAS Y PARÁSITOS EN LAS ENFERMEDADES  
TRANSMITIDAS POR LOS ALIMENTOS**

---

---



## 2. Papel de las Bacterias y Parásitos en las Enfermedades Transmitidas por los Alimentos

Las enfermedades de origen alimentario causadas por agentes biológicos, es uno de los problemas de salud pública que actualmente la humanidad enfrenta.

### 2.1 Incidencia

El informe del comité conjunto de expertos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO)/Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1984, sobre la seguridad de los alimentos estableció que las enfermedades debidas a alimentos contaminados, es quizá el problema más ampliamente diseminado en el mundo contemporáneo y causa importante de una reducida productividad económica (WHO 1984).

La oficina Europea de la OMS, informó que durante el período 1986-1989, la frecuencia de las enfermedades transmitidas por los alimentos fue la segunda causa de morbilidad en Europa precedida de las enfermedades respiratorias (EURO/WHO 1984).

En E.U.A. se estimó que se producen más de 81 millones de casos de enfermedades debidas a contaminación bacteriana con alimentos y que éste tiene un costo anual de 17 millones de dólares en atención médica y disminución de productividad, mientras que en América Latina donde la situación es más grave, se producen 350 millones de casos de diarrea por año (Monckeberg 1990).

En la mayoría de los países de la región latinoamericana y del Caribe, la enteritis y otras enfermedades diarreicas se encuentran entre las cinco primeras causas de mortalidad y se reconoce que los alimentos contaminados son causa de una alta proporción de incidentes diarreicos (Michainie et al 1987).

En nuestro país las enfermedades transmitidas por los alimentos (ETAs) son las primeras causas de morbi-mortalidad (Vigilancia Sanitaria S.S. 1989; Anuarios de Información Epidemiológica de México 1989, 1990), como se podrá

observar en la tabla No. 1, éstas se encuentran dentro de las 20 primeras enfermedades.

Esta situación es grave; informes de varios países industrializados indican que el porcentaje de las enfermedades transmitidas por los alimentos, está aumentando, en lugar de disminuir, (Bryan 1980).

En México ocurre una situación similar, las enfermedades gastrointestinales aumentan con el tiempo. La Dirección General de Epidemiología reporta datos de morbilidad de las enfermedades de origen bacteriano que se transmiten por alimentos, del año 1978 a 1989, (ver tabla No. 2); con lo que respecta a enfermedades causadas por parásitos, sólo se cuentan con datos de 1988 y 1989, sin embargo se sabe que las enfermedades causadas por parásitos ocupan altos valores de incidencia.

El incremento y la frecuencia de las infecciones e intoxicaciones producidas por los alimentos, se deben a factores técnicos, que son muy propios de cada país (Kaupert 1989).

Analizando una serie de estudios retrospectivos sobre la epidemiología de las enfermedades transmitidas por los alimentos (Bryan 1980, Roberts 1982). Se determinó que los factores que con más frecuencia contribuyen a los brotes, se resumen en la tabla No. 3.

Por otro lado, factores sociales que se presentan a través del tiempo (Kampelmacher 1989), como es el caso de los cambios de hábitos alimenticios de la población autóctona bajo la influencia de nuevos grupos étnicos inmigrantes, la migración de millones de gentes (turistas, trabajadores, refugiados, inmigrantes, etc.), dan lugar a la importación de patógenos entéricos humanos, cría en masa y engorda de animales a partir de la segunda guerra mundial, hasta el más pequeño incremento de la población de microorganismos; tiene como resultado un riesgo potencial en cuanto a la contaminación patógena de los alimentos (Kampelmacher 1989).

## 2.2 Etiología

En la actualidad es difícil contar con datos estadísticos de la ocurrencia de las enfermedades transmitidas por los alimentos, muchos casos no son declarados, esto sucede incluso en países industrializados, a pesar de este marcado grado de falta de declaración de las enfermedades alimentarias de etiología microbiana; su patogénesis ha sido completamente dilucidada en investigaciones epidemiológicas retrospectivas, (Mossel 1985, Bryan 1980, Foster 1989, Roberts 1982, Curtin 1989), estableciendo que los principales agentes etiológicos de origen microbiano son: *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.*, *Escherichia Coli 0157: H7*, *Listeria Monocitógenes*, *Yersinia Enterocolítica*, mohos, levaduras y virus.

Los agentes etiológicos parasitarios como *Triquinella Spiralis*, *Taenia Solium*, *Taenia Saginata* y *Toxoplasma Gondii* son los más comunes que se encuentran en los alimentos de origen animal y forman parte obligatoria de su ciclo de vida (Quevedo y Thakur 1980).

Estudios epidemiológicos han demostrado que la ingestión de alimentos de origen animal contaminados constituye la causa principal en un 80 a un 90% aproximadamente de los casos (Mossel 1985, Bryan 1980).

En la tabla No. 4 se presenta la relación de los productos alimenticios de origen animal y los agentes patógenos aislados de éstos (Lasta 1989, Bryan 1980, Genigeorgis 1986).

### 2.2.1 Salmonella

La *Salmonella* es el agente causal más importante que produce enfermedades transmitidas por los alimentos, en países desarrollados y en vías de desarrollo, la incidencia de la salmonelosis en el ser humano se ha incrementado significativamente durante los últimos 30 años (WHO/EHE/FOS 87.2). En E.U.A. aproximadamente 25,000 casos se reportan oficialmente cada año, mientras el número total de casos actuales se estima en alrededor de un millón, involucrando

2,000 casos de muerte. El costo social anual de la salmonelosis, en ese país en el año de 1985 osciló entre 673 a 1205 millones de dólares americanos, y el costo por caso fue de 350 a 600 dólares americanos (Curtin 1989).

En México la incidencia de la salmonelosis se incrementó notablemente a partir de 1985 hasta la fecha.

En el año 1989 se reportaron 93,711 casos por cada 100,000 habitantes en la República Mexicana (Anuarios de Información Epidemiológica 1988, 1989).

Revisando los datos de varios países se puede concluir que el pollo y las carnes rojas juegan un papel importante, quizás los principales vehículos de *Salmonella* (Genigeorgis 1986, Shane 1990).

La contaminación de esta bacteria en los animales para consumo humano, es a través de sus dietas alimenticias, los alimentos balanceados para pollos y otros animales, están contaminados por otros microorganismos e insectos (Ito 1981, Lapidot 1978, Figuer 1989). Esto trae como consecuencia un gran número de portadores de *Salmonella*, tanto humanos que consumen la carne, así como los animales que comen estas dietas y los animales mismos. A este tipo de contaminación se le conoce como fuente primaria de infección en animales (Lapidot 1978).

Esta fuente primaria es sumamente peligrosa, cuando el animal ha sido sacrificado, los alimentos que son consumidos crudos o insuficientemente cocidos procedentes de ésta fuente, pueden ser consumidos en forma de bistecs, hamburguesas, salchichas de puerco fresco, trayendo como consecuencia un riesgo a la salud (Kampelmacher 1989).

Además de los vehículos como pollo y cármicos que traen consigo la *Salmonella*, se ha descubierto que algunos animales domésticos son también portadores, como en el caso de los caballos, gatos, toros y en animales de sangre fría, como tortugas, lagartos, víboras y algunos insectos (Figuer 1989).

Estudios epidemiológicos han demostrado que debido a la presencia de *Salmonella* en muchos alimentos, existe la contaminación secundaria o cruzada, ésto sucede durante la producción, procesamiento y preparación culinaria; los utensilios de cocina y manos de los trabajadores que laboran en las faenas diarias

relacionadas con la manipulación de pollo y carnes, juegan un papel importante en la contaminación cruzada y contribuyen a la diseminación de esta bacteria entérica, particularmente en los alimentos ya cocidos que están listos para consumirse como pollo, cárnicos y sus productos (Doyle 1981, Tood 1980).

Otra fuente de contaminación son las aguas superficiales, los canales de irrigación y los ríos que a menudo están contaminados con *Salmonella* y pueden producir proliferación de crustáceos y peces. Se reconocen 2,200 serovariedades o serotipos diferentes de *Salmonella* que se han encontrado en el hombre, animales y medio ambiente (Figuer 1989).

Los cuadros clínicos producidos por la *Salmonella* son:

- fiebre entérica comúnmente conocida como tifoidea
- intoxicación alimentaria

en ambos casos la bacteria entra al organismo por vía oral. La fiebre tifoidea es producida por una de las especies denominada *S. Typhi* pero otras *Salmonellas* son capaces de producir el mismo síndrome. Dentro de este cuadro, se distingue la *S. Typhi* y *S. Paratyphi*. La primera tiene un período de incubación más corto, incluso se puede sugerir una intoxicación alimentaria. La intoxicación alimentaria se caracteriza por una gastroenteritis aguda y el germen entra a través del agua o alimentos contaminados, el período de incubación es de 8 a 48 horas y la enfermedad dura de 1 a 7 días. La principal fuente de contaminación de este tipo de salmonelosis, está en los alimentos de origen animal como carne de vacuno, carne de cerdo, cecinas, pollo, pavo, leche cruda, huevos y helados, es importante mencionar que las salmonelas son capaces de permanecer por largos períodos de tiempo en los alimentos congelados (Monckeberg 1990, Figuer 1989, OMS 1987).

### 2.2.2 Campylobacter

En años recientes la campilobacteriosis ha sido reconocida como una causa importante de enfermedades diarreicas y en los últimos años se ha incrementado notablemente esta enfermedad en países como E.U.A., Inglaterra y Holanda (Kampelmacher 1989, OMS 1987, Doyle 1981).

Estas enfermedades se transmiten frecuentemente de los animales al hombre por alimentos de origen animal contaminados, además debe incluirse la posibilidad de transmisión entre humanos (Lasta 1989).

En numerosas publicaciones relacionadas con la enteritis en el hombre, indican que ésta enfermedad es causada por *Campylobacter fetus* subespecie *Jejuni* y se ha encontrado en pollo, carne, almejas y leche (Doyle 1981).

En E.U.A. se considera a la carne de pollo como la responsable del 12% de transmisión de *Salmonella* y 50% de *Campylobacter*. En Inglaterra la incidencia de *Campylobacter* en las enfermedades transmitidas por alimentos es mayor que las que pueden producirse con *Salmonella*, *Shigella*, o *Yersinia Enterocolítica*, en la tabla No. 5 se puede observar esta situación.

En nuestro país no hay información epidemiológica concreta, la Dirección de Epidemiología sólo reporta incidencia de otras infecciones intestinales y mal definida, el índice de esta incidencia es muy alto, ésto se puede observar en la tabla No. 2 (Información Dirección General de Epidemiología 1988-1989).

La manifestación clínica de la campylobacteriasis se resume de la siguiente manera; 35% de los pacientes sufren de diarreas que frecuentemente se manifiestan en forma líquida, fiebre, cólicos abdominales, malestar general y dolor de cabeza (Doyle 1981).

Investigaciones basadas sobre la prevalencia de la campylobacteriasis realizadas en E.U.A., presumen que 2.1 millones de casos ocurren anualmente. Se estima que el rango de severidad ocurre entre 60,000-170,000, incluyendo 2,000 muertes por año y que el costo social de esta enfermedad es del rango de 7 a 14 millones de dólares (Curtin 1989).

### 2.2.3 Listeria Monocytógenes

La listeriosis es la enfermedad causada por la bacteria *Listeria Monocytógenes*, cuyo principal mecanismo de transmisión al humano es por la ingestión de alimentos contaminados (Michanie 1988, Cox 1989, Jacob 1990).

Este microorganismo tiene la habilidad de multiplicarse a bajas temperaturas como en leche, quesos, carnes (especialmente en estado crudo), aves de corral y sus derivados, hortalizas y verduras, pescados y mariscos (Monckenberg 1990, Cox 1989, Jacob 1990).

Esta enfermedad es poco frecuente y se manifiesta por un episodio agudo de fiebre en los individuos susceptibles (Jacob 1990). En cambio la enfermedad es más grave en mujeres embarazadas, recién nacidos y personas con trastornos del sistema inmunitario, la manifestación en este tipo de personas es a través de una meningitis; en mujeres embarazadas ocurre aborto y septicemia perinatal. En ausencia de tratamiento sobreviene la muerte (Michanie 1988, Cox 1989).

En un estudio de 280 casos de meningitis neonatal en Holanda de 1976-1982 se encontró que 4.3% de estos casos se debieron a *L. Monocytogenes*, 47% a *E. Coli* y 10.7% a otras bacterias (Cox 1989).

#### 2.2.4 Escherichia Coli

Otro organismo que recientemente ha sido reconocido como patógeno de enfermedades transmitidas por los alimentos es la *Escherichia Coli* 0157:H7 (OMS 1987, Foster 1989).

Este microorganismo fue descubierto en 1982 en comidas rápidas y en clínicas de reposo, escuelas y otras instituciones.

Este organismo produjo un severo tipo de colitis hemorrágica (sangrado abundante y diarrea con agua) algunas veces seguida de síndrome urémico hemolítico, dañando seriamente al riñón. Algunas veces ocurre la muerte, ésto se presenta en niños pequeños.

La mayor fuente de contaminación es a través de heces de seres humanos contaminados y de las aguas. Los alimentos de origen animal se contaminan en los mataderos. La carne impropriamente cocida de pollo y vacuno han sido los responsables de los brotes de estas enfermedades (Foster 1989, OMS 1987).

### 2.2.5 *Staphylococcus Aureus*

Estadísticas internacionales reconocen a la intoxicación estafilocócica como uno de los tipos más comunes de las enfermedades transmitidas por los alimentos (Genigeorgis 1986).

Este microorganismo se desarrolla en alimentos que contienen un alto contenido de sal y una de sus principales características es la de producir toxinas (OMS 1987). La carne y sus productos cárnicos, pescados, leche, crema, salsa y ensalada son los alimentos implicados (Monckenberg 1990, Genigeorgis 1986).

Datos epidemiológicos indican que la cocción impropia de los alimentos preparados a diario para servirse al otro día en forma recalentada, así como una impropia manipulación de los alimentos por el personal que labora en la preparación de los mismos, son los factores que contribuyen a que frecuentemente se produzcan brotes de envenenamiento por *Staphylococcus* en los alimentos (Genigeorgis 1986).

Esta bacteria probablemente es el principal causante de diarreas por contaminación de alimentos, pero no existen estadísticas confiables, ya que el cuadro clínico que presenta se puede confundir con muchas otras causas de diarrea (Monckenberg 1990), el período de incubación es breve y los síntomas aparecen después de 6 horas de consumir el alimento, el cuadro clínico consiste en náuseas, vómitos, dolores abdominales, debilidad, deshidratación y temperatura inferior a la normal. Los síntomas son de escasa duración, en general menos de 1 o 2 días (Jacob 1990).

### 2.2.6 Shiguella

Esta bacteria produce shigelosis o disentería bacilar, su habitat natural es el intestino del hombre, los principales afectados son niños pequeños y ancianos, quienes presentan mayor susceptibilidad. La enfermedad tiene un período de incubación de 1 a 7 días y se caracteriza por diarrea, dolor abdominal, fiebre y vómito, la transmisión generalmente es de persona a persona por vía fecal-oral,



siendo menos frecuente la contaminación en alimentos, las manos contaminadas de los manipuladores de alimentos, pueden transmitir esta bacteria a éstos. Los principales alimentos contaminados son ensaladas y los mariscos que se contaminan de persona a persona (Monckenberg 1990, Jacob 1990).

#### 2.2.7 Yersinia Enterocolítica

Este organismo adquirió importancia en el período de 1975-1985 debido a su marcada incidencia en enfermedades gastrointestinales producidas por ingerir leche en E.U.A. esta bacteria no es muy frecuente en las infecciones de los seres humanos, pero cuando entra al organismo produce graves síntomas de enterocolitis, la población más afectada es la infantil (Monckenberg 1990). Esta bacteria se encuentra en el tracto intestinal y heces de animales domésticos, alimentos crudos de origen animal (Frade 1989), el reservorio más frecuente ha sido el cerdo, especialmente en su forma más virulenta (Monckenberg 1990) también se ha encontrado en aguas no cloradas como ríos, corrientes y lagos, ésta bacteria es capaz de desarrollarse a temperaturas de refrigeración (Frade 1989).

#### 2.2.8 Bacillus Cereus

Este microorganismo causa grandes problemas por la habilidad que tiene para sobrevivir indefinidamente por medio de sus esporas, además produce toxinas (Frade 1989). Los lugares donde se ha encontrado a esta bacteria con relativa frecuencia es en restaurantes y establecimientos en donde se sirven platillos de comida china (Bryan 1980), o bien en lugares donde la comida es hervida un día antes de servirse y se mantiene a temperatura ambiente durante 24 horas o más; cuando la comida es recalentada nuevamente, las esporas de *Bacillus Cereus* resisten a este tratamiento, inclusive bacterias vegetativas (Frade 1989).

Esta bacteria causa deterioros en productos lácteos, cereales como arroz, carne contaminada, productos de volatería y salsas de harina de maíz (Frade 1989, OMS 1987, Jacob 1990), algunas esporas pueden sobrevivir al tratamiento culinario y germinar en bacilos que producirán las toxinas, cuando éstas están en el intestino humano. La manifestación de esta bacteria es rápida de 2 a 4 horas, los síntomas pueden ser de dos tipos; los leves pueden producir diarrea escasa, náuseas y vómitos, o bien la infección clásica se manifiesta de 6 a 16 horas donde ocurre diarrea aguda y vómitos (Jacob 1990, Frade 1989).

### 2.2.9 Clostridium Perfringes y Botulinum

#### Clostridium Perfringes

Esta bacteria produce infecciones tóxicas debido a los alimentos que se reportan desde 1895 a la fecha. La incidencia del *Cl. Perfringes* como responsable de la gastroenteritis intestinal de origen bacteriano ocupa el tercer lugar, siendo superado por *Staphylococcus Aureus* y *Salmonella* (Todd 1983, Frade 1989). Esta bacteria se encuentra frecuentemente en pollo, vacuno, cerdo, inclusive en alimentos deshidratados (Bryan 1980, Jacob 1990).

El *Cl. Perfringes* es una bacteria anaerobia, que puede tolerar una pequeña cantidad de oxígeno, forma esporas; éstas pueden soportar el calor y la deshidratación y pueden sobrevivir durante mucho tiempo en estado latente, en alimentos, suelo y polvo (Jacob 1990). La enfermedad se produce como consecuencia de la ingestión de alimentos con esta bacteria (Bryan 1980, Jacob 1990).

La enfermedad es consecuencia de una toxina que se produce cuando la bacteria adopta su forma esporulada en el intestino delgado. Los síntomas aparecen de 9 a 22 horas después de ingerir el alimento, se presentan dolores abdominales, contracciones y diarreas, los vómitos son raros. La epidemiología de la gastroenteritis debida a *Cl. Perfringes* destaca su relación con comidas colectivas y con platillos hechos a base de carne. Cuando los alimentos

congelados son recalentados, el calor puede activar la germinación de las esporas bacterianas y los gérmenes podrán multiplicarse activa y rápidamente. El enfriamiento lento es uno de los factores que fácilmente provocará la enfermedad (Bryan 1980, Jacob 1990, Frade 1989).

### Clostridium Botulinum

Bacteria anaerobia, en su forma resistente se encuentra en forma esporulada, se encuentra en el suelo y en hortalizas, produce una de las sustancias más tóxicas conocidas por el hombre.

Esta bacteria es absorbida en el intestino y se une irreversiblemente a las terminaciones nerviosas, los síntomas tardan en aparecer, se manifiestan de 12 a 72 horas después de haber ingerido el alimento contaminado, los síntomas que se manifiestan son náuseas, vómitos, fatiga, dolor de cabeza, sequedad en la piel y mucosas, parálisis muscular, doble visión y dificultad respiratoria. La enfermedad dura de 1 a 10 días y la mortalidad es de aproximadamente 10%, la afección es denominada botulismo.

Las esporas son resistentes al calor y esta bacteria es la mayor preocupación de los fabricantes de conservas donde implica baja acidez; debido a que es anaerobia y esporulada, en los procesos de enlatado se consideran como un parámetro fundamental de esterilización. La mayor frecuencia de problemas de botulismo se da en la producción de conservas donde el tratamiento térmico es insuficiente (Monckeberg 1990).

### 2.2.10 Vibrio Parahemoliticus, Cholera y Vulnificans

Estos microorganismos son la causa principal de enfermedades transmitidas por alimentos de origen marino; estadísticas internacionales reportan víctimas en Japón y sudeste de Asia (Kampelmacher 1989, Monckenberg 1990, OMS 1987, Frade 1989), en productos marinos originarios del Golfo de México se detectó *Vibrio Cholera* (Foster 1989). En este año, en Perú se registra una epidemia

producida por *V. Cholera*, con más de 600,000 afectados y 500 muertos, cuya vía de entrada de esta bacteria fueron productos del mar (Periódico Excelsior 1991).

El *V. Cholera* produce una toxina que se manifiesta por una grave diarrea con pérdida de agua y deshidratación, si no se trata esta enfermedad se llega hasta la muerte de quienes la padecen (Monckenberg 1990).

#### Vibrio Parahemoliticus

Esta bacteria es la responsable de epidemias gastrointestinales, fiebre y diarrea; la enfermedad no es grave y se cura por si sola, también se han descrito casos fatales (Monckenberg 1990).

#### Vibrio Vulnificans

Esta bacteria se asocia con infecciones de heridas que terminan con una septicemia, que tiene una mortalidad muy alta (Monckenber 1990).

Los *vibrios* sobreviven a temperaturas de 10 grados centígrados o menos, su reproducción es lenta, mientras que a temperatura ambiente la reproducción es alta.

### 2.2.11 Parásitos Transmitidos por Alimentos

Los parásitos tanto protozoos como los helmintos, ocasionan serios problemas, en la higiene de los alimentos, producen muchas enfermedades que con frecuencia alcanzan una difusión mundial (Quevedo y Thakur 1980).

Cerca de 100 especies de parásitos pueden ser transmitidos por los alimentos infectados, sin embargo, cinco parásitos están bien identificados que comúnmente producen enfermedades que son transmitidas por los alimentos, representando un alto riesgo a la salud aún mayor que las bacterias (OMS 1987, Quevedo y Thakur 1980).

Según los expertos, estos parásitos son responsables de la Triquinosis, Taeniasis, Toxoplasmosis, Anisakiasis y Opisthorchiasis/Chlochiasis (OMS 1987).

#### A. Triquinosis

Esta enfermedad de origen alimentario con frecuencia es grave; es producida por el parásito *Triquinella Spiralis*, la enfermedad se adquiere al comer carne de puerco cruda o insuficientemente cocida; proviene principalmente del cerdo y sus derivados que contengan quistes viables de triquinina; la cápsula de los quistes que rodea esas larvas es digerida junto con la carne. Muchas de las larvas que quedan libres en el intestino son eliminadas en las heces; las que quedan, maduran a gusano, en el intestino delgado donde copulan en un lapso de 48 horas. Los síntomas de la infestación consisten de fiebres, vómitos, diarreas, hemorragias, dolores musculares, lesiones cutáneas y debilidad en general, el período de incubación varía de 5 a 45 días (Jacob 1990, Quevedo y Thakur 1980).

La triquinosis es un grave problema de salud en países desarrollados y en vías de desarrollo, así como un costoso estigma para la industria de la carne porcina. En E.U.A. se sacrifican 40 millones de posibles raciones de comida contaminada de triquinina con la infección (Sivinsky 1985, Vásquez 1990). En el período 1975-1981 se reportaron 1,066 casos en E.U.A., de los cuales 70% se debió a productos porcinos, 19% a otros productos cármicos procedentes de otros animales y 11% de productos indefinidos (Genigeorgis 1986). Reportes epidemiológicos sobre triquinosis en México indican que durante el año 1988, se registró una tasa de 0.29 por 100,000 habitantes y en el año de 1989, 0.26 por 100,000 habitantes, aunque la incidencia reportada es baja, realmente se carece de un programa de vigilancia bien establecido y los datos reales no se conocen con exactitud (Información Epidemiológica 1988 y 1989). En octubre de 1987, se reportó el más grande brote de triquinosis en México, esto sucedió en Delicias Chih. en donde se contagiaron 50 personas por ingerir chorizo de puerco (Vásquez 1990).

## B. Taeniasis

La taeniasis o teniasis es una enfermedad que se produce al consumir carnes de puerco y res insuficientemente cocidas y que antes han estado infectadas; es causada por dos parásitos importantes: *Taenia Solium* y *Taenia Saginata*. Las larvas de estos céstodos son los cisticercos a los que se les denomina *Cysticercus Cellulosae* (*T. Solium*) y *Cysticercus Bovis* (*T. Saginata*), estas larvas se presentan principalmente en carne de puerco y res respectivamente, también se encuentran en mamíferos como perro y en el hombre. Al defecar el hombre expelle segmentos grávidos de estos parásitos, los huevos contenidos en los segmentos son infectivos y pueden ser ingeridos por bovinos o porcinos en el forraje y recogidos de la tierra. Las larvas provenientes de huevos albergados por los bovinos y cerdos se alojan eventualmente como cisticercos en las músculos comestibles de los huéspedes intermediarios. Los huéspedes humanos completan el ciclo al consumir carne parcialmente cocida, de estos animales infestados, otra forma de infestación es a través de consumir verduras contaminadas (Quevedo y Thakur 1980).

Las taeniasis producidas por *T. Solium*, son la causa de la neurocisticercosis humana, este problema de salud se presenta en países con bajo desarrollo socioeconómico, con deficiente vigilancia en la crianza de cerdos y sólo existe una esporádica inspección de la carne (Quevedo 1980).

La Dirección General de Epidemiología de la S.S. reporta una tasa de 15.48 por cada 100,000 habitantes en el año de 1988 y 16.61 por cada 100,000 habitantes en 1989 (Información Epidemiológica, Dirección Gral. de Epidemiología 1988, 1989).

En E.U.A. el Centro Carter de DC/Emory University estimó que ocurren 1,000 casos de teniasis por año (Roberts 1985).

Según estimaciones hechas por FAO sobre Taeniasis en México, durante el año de 1982 se registraron pérdidas de 43 millones de dólares americanos (Rubio 1989).

### C. Toxoplasmosis

Esta enfermedad transmitida por los alimentos a causa de la resistencia de los quistes en las carnes insuficientemente cocidas o bien por manejo de carne de cerdo y otros animales como carnero, vacuno y conejo (GCCIA 1987, Quevedo 1980). Esta enfermedad es producida por el parásito *Toxoplasma Gondii*, investigaciones recientes han demostrado que la transmisión al hombre se produce por la ingestión de carne parcialmente cocida o cruda, o bien por la exposición a heces infectadas de gatos (Quevedo 1980).

La toxoplasmosis adopta varias formas en los humanos, como infección congénita del recién nacido, también es causa de malformaciones craneanas y consiguientes lesiones cerebrales, contraída en la edad adulta, puede provocar aborto en mujeres embarazadas, en cualquier adulto hay lesiones oculares y malestar general, la toxoplasmosis generalizada esta usualmente asociada con deficiencia inmunológica (Roberts 1985).

En México la tasa por 100,000 habitantes de ésta enfermedad fue de 0.16 en 1988 y de 0.26 para 1989 (Información Epidemiológica, Dirección General de Epidemiología 1988 y 1989).

### D. Anisakiasis

Esta enfermedad es producida por el parásito *Anisakis*, que es transmitido por peces, este organismo no presenta serios problemas de Salud Pública debido a que el pescado y los productos del mar son eviscerados y congelados (Quevedo 1980), ha habido algunas infecciones esporádicas en el hombre (OMS 1987).

En México la Dirección Gral. de Epidemiología no reporta esta enfermedad (Información Epidemiológica, Dirección General de Epidemiología S.S. 1988 y 1989).

---

---

CAPÍTULO III

**RADIOACTIVIDAD NATURAL EN LA MATERIA Y EN LOS  
ALIMENTOS**

---

---



### 3. Radiactividad

La radiactividad fue descubierta en 1896, hace poco más de 100 años, por Henri Becquerel, como una consecuencia directa del descubrimiento de los rayos X por Röntgen, algunos meses antes. Becquerel estaba trabajando con una sal de uranio, cuando encontró que emitía radiaciones similares a los rayos X, con un considerable poder de penetración. El término actual: radiactividad, no aparece sino un año después en una publicación por Pierre y Marie Curie sobre sus investigaciones químicas de la *plechblenda*, un mineral conteniendo radio y uranio (Navarrete-Cabrera, 1993).

La radiación es energía que proviene de los núcleos de los átomos con exceso de energía y que, al liberarla, provocan transformaciones en sus propios átomos o moléculas.

#### 3.1 Radiactividad Natural

Si revisamos los 90 elementos naturales que se encuentran clasificados en la tabla periódica de Mendeleiev, podemos verificar algunos hechos sorprendentes. El primero de ellos es que de estos 90 elementos, 10 están formados por isótopos radiactivos exclusivamente (del elemento con número atómico 83, bismuto, al 92, uranio). Otra peculiaridad es que, del número atómico 1, hidrógeno, al 82, plomo, 18 de entre ellos presentan algún isótopo radiactivo que se encuentra ya sea formando parte de su mezcla isotópica, ya sea aislado en algún otro medio natural, como el agua de lluvia, por ejemplo. Un hecho más, es que si son producidos artificialmente tecnecio y prometio, cuyos lugares en la tabla periódica existen, sin haberlos encontrado jamás en la naturaleza, no pueden ser obtenidos sino isótopos radiactivos. Si agregamos que los elementos con número atómico 93 al 105, producidos artificialmente, no cuentan más que como isótopos radiactivos, viene a resultar que de las 105 sustancias simples conocidas:

- 90 se encuentran en la naturaleza

- 15 son producidas artificialmente y
- 45 de entre ellas cuentan al menos con un isótopo natural que emite radiaciones

De modo que el 43% de los elementos conocidos y 30% de los elementos naturales presentan propiedades radiactivas.

Ahora bien, atendiendo a su origen es posible clasificar en 3 grupos a los isótopos radiactivos que se encuentran en la naturaleza.

El primer grupo sería aquél de los radioisótopos que se producen de manera continua en las reacciones nucleares causadas por la radiación cósmica al incidir sobre la atmósfera terrestre. Ejemplos clásicos serían la producción de 3-H y 14-C por la interacción de neutrones de la radiación cósmica con el nitrógeno del aire, según las reacciones nucleares:  $14\text{-N} (n \text{ rápidos}, 3\text{-H})$   $12\text{-C}$  y  $14\text{-N} (n \text{ lentos}, p)$   $14\text{-C}$ .

Tanto el 3-H como el 14-C se precipitan a tierra con la lluvia y entran a formar parte del hidrógeno elemental y carbono orgánico respectivamente. En la tabla No.6 podemos ver los isótopos radiactivos de algunos elementos encontrados en el agua de lluvia, junto con su velocidad de producción, cuando ésta ha podido ser calculada. Estos radioisótopos se llaman cosmogénicos debido a que son creados continuamente en el espacio que rodea a la tierra.

El segundo grupo comprende a los radioisótopos que forman parte de la mezcla isotópica que compone un elemento. Estos radioisótopos tienen que ser de vida media muy larga, de  $10^9$  a  $10^{15}$  años, puesto que existen desde la formación de los elementos y la cristalización de los minerales en los que se encuentran cuando la tierra empezó su gradual enfriamiento. Por este motivo se llaman primarios. En la tabla No. 7 podemos ver los radioisótopos de este tipo.

Como ejemplo de algunos de los elementos radiactivos contenidos en el cuerpo humano se encuentran los siguientes:

- Potasio-40, 0.017% de 140 g (cuerpo)
- Rubidio
- Radio

- Uranio

Los principales contribuyentes en los alimentos son:

- Ra-226 y

- K-40, el cual se encuentra principalmente en carnes, pescado y nueces

Como dato podemos citar que en un desayuno se consumen alrededor de 141.7 pCi/kg de partículas de radiación.

Por el mismo hecho el ser humano recibe alrededor de 15000 partículas de radiación durante cada segundo de su vida.

El tercer grupo de radioisótopos naturales comprende aquéllos que se forman por el decaimiento de otro radioisótopo, es decir, tienen origen radiogénico. En la naturaleza existen 3 series radiactivas originadas por el decaimiento del  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  y  $^{235}\text{U}$ . Estos isótopos radiactivos son el principio de cadenas que se forman por el decaimiento sucesivo de padres e hijos radiactivos, cadenas que terminan respectivamente con los isótopos estables  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$  y  $^{207}\text{Pb}$ .

Debido a que los números de masa  $A$  de todos los miembros de estas cadenas radiactivas pueden reemplazarse respectivamente por las expresiones algebraicas  $(4n)$ ,  $(4n+2)$  y  $(4n+3)$ , donde  $n$  es un número entero, son denominadas también por estas expresiones algebraicas. Puede formarse otra cadena radiactiva, la del  $^{241}\text{Pu}$   $(4n+1)$ , aunque no existe actualmente en la naturaleza, ha sido detectada en el espectro de luz proveniente de algunas estrellas, lo que sugiere que tal vez su tercer eslabón,  $^{237}\text{Np}$  ( $t_{1/2} = 2.14 \times 10^6$  años) existió en el planeta, pero su vida media resulta demasiado corta para permanecer hasta el presente. Esta cadena termina con el  $^{209}\text{Bi}$ , isótopo que forma el 100% del bismuto elemental, y cuyo carácter radiactivo resulta difícil de verificar experimentalmente, debido a que se le calcula una vida media larguísima del orden de  $10^{18}$  años. De modo que si se acepta la presencia pasada del  $^{237}\text{Np}$  en la tierra, el  $^{209}\text{Bi}$  viene a ser el último eslabón de la cadena radiactiva  $(4n+1)$ . Si esta cadena se considera hipotética solamente, por carecer de evidencia, entonces el  $^{209}\text{Bi}$  pasa a ser clasificado como radioisótopo primordial.

En relación a los minerales de uranio, donde se encuentran las cadenas radiactivas  $(4n+2)$  y  $(4n+3)$ , es interesante mencionar el fenómeno producido en la

mina uranífera de Oklo, situada en la República de Gabón, antigua África Ecuatorial Francesa. Ahí, los minerales extraídos son enviados para su enriquecimiento a la planta Pierrelatte en Francia, donde con sorpresa se comprobó en 1972 que algunas muestras contaban con una abundancia isotópica de  $^{235}\text{U}$  menor al 0.72% que tiene el uranio natural. Además, se encontró que estos minerales iban acompañados de productos de fisión, lo que originaba que ciertos elementos como el neodimio, por ejemplo, presentaran enriquecimiento en isótopos que son productos de fisión, como el  $^{143}\text{Nd}$ , y el consecuente empobrecimiento de isótopos que no son productos de fisión, como el  $^{142}\text{Nd}$ . Calculada la edad de estos minerales por el método de  $^{87}\text{Rb} - ^{87}\text{Sr}$ , resultó que hubo un tiempo pasado del orden de  $10^9$  años, en el cual la abundancia isotópica del  $^{235}\text{U}$  era de 3%, la cual con un exceso de agua igual a 3 veces la masa de uranio elemental en el lugar permitiría teóricamente la reacción de fisión en cadena propia de los reactores nucleares. De modo que además de los radioisótopos ambientales, los reactores nucleares de fisión parecen haber existido en el planeta.

El estudio de la radiactividad ambiental ha sido posible gracias al desarrollo del equipo y técnicas de detección de bajo fondo. Este estudio empezó con el descubrimiento mismo del fenómeno de la radiactividad en la naturaleza a fines del siglo pasado. Desde entonces, ha ido cobrando cada vez mayor importancia, junto a las otras ramas de la ciencia nuclear (Navarrete-Cabrera, 1993).

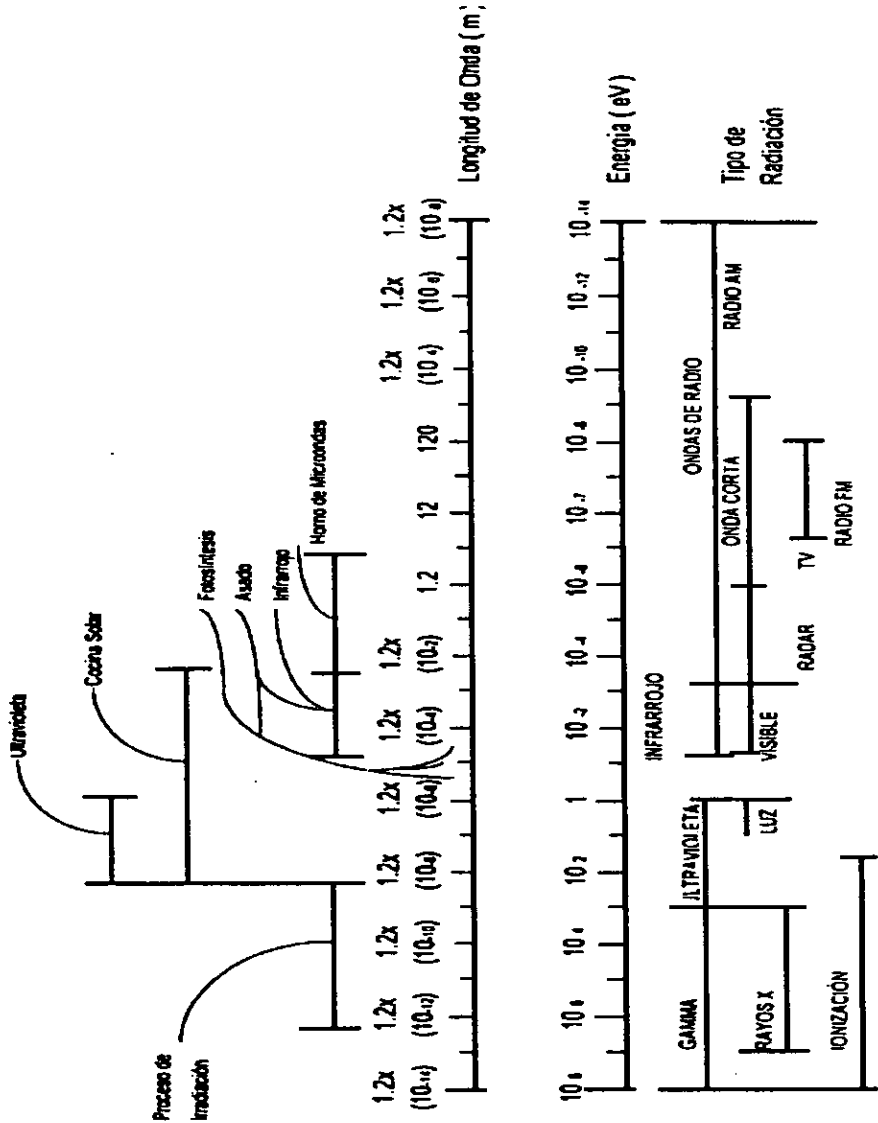
### 3.2 Radiación ionizante

El espectro de radiación electromagnética se divide en varios segmentos según la energía contenida, el segmento del espectro de interés en este caso, la radiación ionizante que se caracteriza por su capacidad de excitar e ionizar los átomos del material a través del cual pasa.

Las radiaciones que producen ionización pueden dividirse en dos clases: las que ionizan directamente y las que lo hacen indirectamente. Las partículas ionizantes directas son partículas cargadas con energía cinética muy grande que

produce ionización por colisión, dentro de estas partículas se encuentran las alfa, las beta y los electrones. Las radiaciones ionizantes indirectas, son radiaciones sin carga y por eso no son atraídas por otras partículas, pero transfieren su energía a partículas cargadas dentro del material que atraviesa, obteniendo como resultado partículas altamente cargadas, como los electrones, además de rayos gamma y X.

### 3.2 Esquema del Espectro de Energía Electromagnética y Diferentes Tipos de Radiación y sus Aplicaciones más Comunes



### 3.2.1 Interacción de la Radiación Electromagnética

Las interacciones de la radiación con la materia resultan de una transferencia de energía de la primera a la segunda.

Esto implica que un haz de radiación experimentará una disminución de su energía total a medida que atraviesa un medio.

Cualquier tipo de radiación al incidir sobre un medio absorbente y su trayectoria entre los átomos del mismo, estará sujeto a cualquiera de estos dos acontecimientos:

- 1) Pasar sin encontrar oposición
- 2) Interactuar con algún electrón

Cuando las radiaciones gamma provenientes de los radionúclidos, así como los rayos X, interactúan con los átomos del material irradiado pueden ocurrir tres tipos de interacción: Efecto Fotoeléctrico, Efecto Compton y Producción de Pares.

#### A. Efecto Fotoeléctrico

El rayo gamma o X al incidir sobre un átomo, transfiere toda su energía a uno de los electrones fuertemente ligado al átomo, expulsándolo del mismo; el electrón que salió es denominado electrón secundario, lleva energía suficiente para formar otros iones o excitar otros átomos, esto ocurre a energías de 0.5 Mev.

#### B. Efecto Compton

Si consideramos un electrón poco ligado al átomo o bien un electrón prácticamente libre, sobre el cual incide un rayo gamma o X, los principios de conservación y de cantidad de movimiento, no permiten que el electrón absorba toda la radiación incidente, en este caso el electrón dispersa la radiación, sale de su órbita y se convierte en un electrón secundario, el fotón dispersado, vuelve a interactuar con el electrón de otro átomo, el rayo de energía en que se efectúa este efecto es de 0.5 - 5 Mev.

### C. Producción de Pares

Cuando la energía de radiación gamma es mayor que 1.022 Mev, puede ocurrir este proceso, el fotón incide en un átomo, cerca del núcleo sucede esta reacción, el fotón desaparece, por conservación de energía y cantidad de movimiento da lugar a la creación del par, electrón-positrón, ambas partículas llevan energía y son capaces de formar iones o excitar a otros átomos. En la figura No. I (apéndice) se presentan estos tres efectos.

En el proceso de irradiación de alimentos, el efecto que predomina es el Compton, debido a la energía que se utiliza.

Como podemos observar en la figura No. II (apéndice) el fotón que incide en el medio interactúa con el átomo absorbedor de tal forma que un electrón es expulsado. El fotón incidente continúa su trayectoria con un cambio de dirección después de la colisión y con menor energía que la original.

Los electrones expulsados (electrón Compton o secundarios) tienen poca energía cinética para causar excitaciones e ionizaciones en el átomo absorbedor (Diehl 1990).



---

---

CAPÍTULO IV

**SENSIBILIDAD DE LOS MICROORGANISMOS A LA  
RADIACIÓN**

---

---

#### 4. Conservación de Alimentos Mediante el Empleo de Radiaciones y Naturaleza de la Resistencia de los Microorganismos a las Mismas

Si bien en 1929 se expidió una patente para usar la radiación como medio para conservar alimentos, no fue hasta poco después de la Segunda Guerra Mundial cuando se dio más importancia a este método de conservación. Aun cuando la aplicación de la radiación como método de conservación de alimentos ha sido algo lenta en alcanzar sus máximas posibilidades de uso, la completa aplicación de este método presenta algunos interesantes retos a los microbiólogos de alimentos y a otros científicos que se ocupan de los mismos.

El tipo de radiación de interés primordial en la conservación de alimentos es la electromagnética. Las diversas radiaciones se clasifican en base a su longitud de onda, siendo las longitudes de onda más cortas las más perjudiciales para los microorganismos. El espectro electromagnético, con respecto a estas radiaciones de interés en la conservación de alimentos, puede ser dividido a su vez de la manera siguiente: microondas, rayos ultravioleta, rayos X y rayos gamma. Las radiaciones de principal interés en la conservación de alimentos son las radiaciones ionizantes, definidas como aquellas radiaciones que tienen longitudes de onda de 2.000 Å o menos, por ejemplo, las partículas alfa, los rayos beta, los rayos gamma, los rayos X y los rayos cósmicos. Sus cuantos contienen la suficiente energía para ionizar moléculas en sus trayectorias. Como quiera que destruyen a los microorganismos sin que se eleve de forma apreciable la temperatura, a este tratamiento se le denomina "esterilización fría".

## 4.1 Características de las Radiaciones de Interés en la Conservación de Alimentos

### **Luz ultravioleta (luz UV)**

La luz ultravioleta es un potente agente bactericida, siendo la longitud de onda más eficaz la de aproximadamente 2.600 Å. Es una radiación no ionizante que es absorbida por las proteínas y por los ácidos nucleicos, compuestos en los que se producen cambios fotoquímicos que pueden ocasionar la muerte de las células. El mecanismo de la muerte de la célula bacteriana por la luz UV es debida a la producción de mutaciones letales como consecuencia de su acción sobre los ácidos nucleicos. La escasa capacidad de penetración de la luz UV limita su uso en los alimentos a aplicaciones en su superficie en la que es posible que catalicen reacciones de oxidación que conducen a la rancidez, a modificaciones del color y a otras reacciones. Cuando se utiliza la luz UV para tratar la superficie de determinados alimentos, es posible que se produzcan pequeñas cantidades de ozono. La luz UV a veces se usa para tratar la superficie de pasteles de fruta cocidos al horno y productos afines antes de ser envueltos.

### **Rayos Beta**

Los rayos beta pueden definirse como un flujo de electrones emitidos por sustancias radiactivas. Los rayos catódicos son los mismos, excepto que son emitidos por el cátodo de un tubo al vacío. Estos rayos tienen escaso poder de penetración. Entre las fuentes comerciales de rayos catódicos están los generadores de Van de Graaf y los aceleradores lineales. Parece ser que estos últimos se adaptan mejor para ser utilizados en la conservación de alimentos. Existe cierta preocupación sobre el límite superior de la cantidad de energía de los rayos catódicos que puede ser empleada sin inducir radiactividad en determinados constituyentes de los alimentos.

## **Rayos Gamma**

Estos rayos son radiaciones electromagnéticas emitidas por el núcleo excitado de elementos tales como el Co-60 y el Cs-137/Ba-137m que son importantes en la conservación de alimentos. Es ésta la forma de radiación más barata para conservar alimentos, ya que los elementos que la producen son subproductos de la fisión atómica o de activación neutrónica. Al contrario de los rayos beta, los rayos gamma tienen un excelente poder de penetración. El Co-60 tiene una vida media de aproximadamente 5 años; la vida media del Cs-137 es de aproximadamente 30 años y decae a Ba-137m.

## **Rayos X**

Estos rayos se producen mediante el bombardeo de blancos de metales pesados con electrones de alta velocidad (rayos catódicos) en el interior de un tubo de vacío. Por lo demás, son esencialmente parecidos a los rayos gamma.

## **Microondas**

La energía de las microondas puede ser explicada de la siguiente manera. Cuando se colocan en un campo electromagnético alimentos eléctricamente neutros, las moléculas cargadas asimétricamente son impulsadas primero en una dirección y después en otra. Durante este tratamiento, cada una de las moléculas asimétricas intenta alinearse con el campo generado por una corriente alterna que cambia rápidamente. Conforme las moléculas oscilan en torno a sus ejes mientras intentan ir a los apropiados polos positivo y negativo, se crea una fricción intermolecular que se manifiesta en forma de efecto calorífico. Este efecto es la energía de las microondas. La mayoría de las investigaciones realizadas en alimentos se han llevado a cabo a dos frecuencias, a 915 y a 2.450 megaciclos. A la frecuencia de microondas de 915 megaciclos, las moléculas oscilan de una parte a otra 915 millones de veces/segundo (Goldblith 1966).

## 4.2 Principios en los que se Basa la Destrucción de Microorganismos por Irradiación

### 4.2.1 Cambios Celulares

La acción de las radiaciones ionizantes sobre una célula puede dividirse en tres períodos:

- 1) Período de principio. Se relaciona con la situación celular en el momento de la irradiación.
- 2) Período medio. Ocurren las reacciones que llevan al efecto final.

La célula está en un estado fisiológico de alteración de su núcleo, probablemente debida a la acción indirecta de las radiaciones sobre el citoplasma de la célula o aún debido a la activación del medio que rodea a la célula.

- 3) Período final. Es la expresión de los efectos de la radiación como: letalidad, mutaciones genéticas, inhibición del crecimiento y alteraciones en los requerimientos de nutrientes (Snauwaert 1978).

### 4.2.2 Factores a Tomarse en Cuenta en la Radiación

#### *Tipo de Microorganismos*

Las bacterias grampositivas son más resistentes a la radiación que las bacterias gramnegativas. En general, las bacterias esporógenas son más resistentes que las asporógenas (con la excepción de siete especies pertenecientes a cuatro géneros, de las que hablaremos posteriormente). Entre las esporógenas, parece ser que *Bacillus larvae* posee un grado de resistencia mayor que el de otras bacterias aerobias esporógenas. Las esporas del tipo A de *C. botulinum* se muestran como las más resistentes de todas las esporas de los clostridios. Prescindiendo de las siete especies extraordinariamente resistentes, la cepa R53 de *Enterococcus faecium*, los micrococcos y los lactobacilos heterofermentativos figuran entre las más resistentes de las bacterias

asporógenas. Las bacterias más sensibles a las radiaciones son las pseudomonas y las flavobacterias, mientras que otras bacterias gramnegativas tienen una sensibilidad intermedia.

Con las excepciones de las endosporas y de las especies extraordinariamente resistentes ya citadas, en las bacterias, la resistencia a las radiaciones generalmente va asociada a la termorresistencia.

Con respecto a la sensibilidad a las radiaciones de los mohos y de las levaduras, se ha señalado que las últimas son más resistentes que los primeros, siendo ambos grupos de microorganismos, en general, menos sensibles que las bacterias grampositivas. Se ha señalado que algunas especies de *Candida* poseen una resistencia equiparable a la de algunas endosporas bacterianas.

#### *Número de Microorganismos*

En la eficiencia de las radiaciones, el número de microorganismos influye del mismo modo que en el caso del calor, de la desinfección química, y de algunos otros fenómenos: cuanto mayor es el número de células, tanto menos eficaz es una determinada dosis.

#### *Composición del Medio (Nutritivo) en el que están en Suspensión los Microorganismos*

Por regla general, cuando están suspendidos en soluciones tampón, los microorganismos son más sensibles que cuando se encuentran en medios que contienen proteínas. Por ejemplo, Midura *et al.* (Midura 1965) averiguaron que el valor D de radiación para una cepa de *Clostridium perfringens* era 0.23 kGy en tampón de fosfato, mientras que en caldo con carne cocida el valor de D era 3 kGy. Las proteínas ejercen un efecto protector frente a las radiaciones y también frente a determinados agentes químicos antimicrobianos y frente al calor. Varios investigadores han señalado que la presencia de nitritos contribuye a aumentar la sensibilidad de las endosporas bacterianas a la radiación.

### *Presencia o Ausencia de Oxígeno*

La resistencia de los microorganismos a la radiación es mayor en ausencia de oxígeno que en su presencia. Se ha señalado que la total eliminación del oxígeno de una suspensión de células de *E. coli* aumenta su resistencia incluso tres veces (Niven 1958). La adición de sustancias reductoras, tales como los compuestos sulfhídricos, generalmente tiene el mismo efecto de aumento de la resistencia a la radiación, de modo igual a lo que sucede en un medio anaeróbico.

### *Estado Físico del Alimento*

En general, la resistencia a la radiación de las células desecadas es considerablemente mayor que la de las células que contienen humedad. Es muy probable que esta mayor resistencia sea consecuencia directa de la radiólisis del agua por las radiaciones ionizantes. Se ha señalado que la resistencia a la radiación de las células congeladas es mayor que la de las no congeladas (Ley 1974). Cuando se irradió a  $-196^{\circ}\text{C}$  carne de vaca picada, Grecz *et al* (Grecz 1965) comprobaron que los efectos de la radiación gamma disminuían en un 47% en comparación con los efectos que se conseguían a la temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ .

### *Edad de los Microorganismos*

Las bacterias suelen ser más resistentes a la radiación durante la fase lag inmediatamente antes de la división celular activa. Las células bacterianas se vuelven más sensibles a la radiación conforme entran en la fase log y según transcurre ésta y alcanzan su resistencia mínima al final de la misma.

### 4.3 Tratamiento de los Alimentos antes de su Irradiación

Antes de ser expuestos los alimentos a las radiaciones ionizantes, se deben llevar a cabo varias fases de tratamiento, casi iguales a las que se llevan a cabo cuando se trata de alimentos que van a ser congelados o enlatados.

#### *Selección de los Alimentos*

Los alimentos a irradiar deben ser seleccionados cuidadosamente teniendo en cuenta su frescura y su buena calidad general. En especial, no se deben aprovechar aquellos alimentos que ya han empezado a alterarse.

#### *Limpieza de los Alimentos*

Se deben eliminar todos los residuos y toda la suciedad visibles, con lo cual se reducirá el número de microorganismos a destruir mediante el tratamiento por radiación.

#### *Envasado*

Los alimentos a irradiar deben ser introducidos en envases que les protejan de la contaminación una vez irradiados. Los frascos de vidrio transparente experimentan cambios de color cuando se exponen a dosis de radiación en torno a los 10 kGy y es posible que el color que presentan después de dicho tratamiento no sea deseable.

#### *Blanqueo o Tratamiento Térmico*

Las dosis esterilizantes de radiación son insuficientes para destruir los enzimas propios de los alimentos. Con el fin de evitar cambios indeseables en los alimentos después de su irradiación, es necesario destruir estos enzimas. El mejor



procedimiento para destruirlos es un tratamiento térmico, esto es, el blanqueo de las hortalizas y el tratamiento térmico suave de las carnes antes de su irradiación.

#### 4.4 Radapertización, Radicidación y Radurización de Alimentos

Al principio, la destrucción de microorganismos en los alimentos mediante radiación ionizante empleaba una terminología adaptada de la correspondiente a la destrucción de microorganismos mediante calor y mediante agentes químicos. Si bien los microorganismos pueden en realidad ser destruidos por agentes químicos, por el calor, y por la radiación, hay, no obstante, una falta de precisión en el empleo de esta terminología en los alimentos tratados con radiación. Por consiguiente, en 1964, una agrupación internacional de microbiólogos propuso la siguiente terminología para el tratamiento por radiación de los alimentos (Goresline 1964):

**Radapertización:** equivalente a esterilización por radiación o a "esterilidad comercial", tal como ésta se entiende en la industria de conservas enlatadas. Sus dosis típicas de irradiación son de 30 a 40 kGy.

**Radicidación:** equivalente a pasterización de la leche, por ejemplo. Concretamente, se refiere a la reducción del número de microorganismos *patógenos* viables específicos, exceptuados los virus, de forma que no se puede detectar ninguno por cualquier método convencional. La dosis de irradiación típicas para conseguir este tratamiento son de 2.5 a 10 kGy.

**Radurización:** se puede considerar equivalente a la pasterización. Se refiere al aumento de la calidad de conservación de un alimento en el que, mediante la radiación, se consigue una considerable reducción del número de microorganismos *alterantes* viables específicos. Las dosis habituales para carnes frescas, aves de corral, alimentos marinos, frutas, hortalizas y granos de cereales son de 0.75 a 2.5 kGy.

## Radapertización

La radapertización de cualquier alimento se puede conseguir mediante la aplicación de la dosis de radiación adecuada en condiciones apropiadas. El efecto de este tratamiento sobre las esporas de *C. botulinum* tiene un interés evidente. Se ha señalado que las esporas del tipo E poseen valores D de radiación del orden de 0.12 a 0.17 Mrad (Roberts 1965). Kampe (Kempe 1965) averiguó que las esporas de los tipos A y B tienen valores D de 0.279 y 0.238 Mrad, respectivamente. Las esporas del tipo E son las más sensibles a estos tres tipos de radiación.

En la tabla No. 8 se indica el efecto de la temperatura de irradiación sobre las esporas de *C. botulinum*: su resistencia aumenta conforme disminuye la temperatura, y disminuye conforme la temperatura aumenta (Grecz 1971). Las distintas dosis de inóculo no influyeron de forma significativa en los valores D cuyos cálculos se basaron en la tasa de destrucción lineal. En la tabla No. 9 se indican los valores D correspondientes a cuatro cepas de *C. botulinum* en tres productos alimenticios; en ella se puede observar que cada cepa mostró distinto grado de resistencia en cada uno de los productos alimenticios. Asimismo, se puede observar que en los productos cárnicos curados irradiados se obtuvieron los valores D más bajos. A continuación se indican las dosis mínimas de radiación (MRD) expresadas en kGy para la radapertización de nueve productos derivados de la carne y del pescado (3, 4, 29). Con la excepción del tocino entreverado (que se irradió a temperatura ambiente), todos ellos fueron tratados a  $-30 \pm 10^{\circ}\text{C}$ :

### Producto

Tocino entreverado	23 kGy	Camarones	37 kGy
Carne de vaca	47 *	Pastelillos de bacalao	32 *
Pollo	45 *	Cecina de vaca	25 *
Jamón	37 *	Salchichas de c. de cerdo	24-27 *

Para conseguir tratamientos de 12D (reducción de 12 ciclos logarítmicos) de productos cármicos a la temperatura de 30°C aproximadamente, son necesarios los siguientes valores de dosis de irradiación expresados en kGy: carne de vaca y pollo, 41,2-42,7; jamón y pastelillos de bacalao, 31,4-31,7; carne de cerdo, 43,7; y cecina de vaca y salchichas de carne de cerdo, 25,5-26,9. Los tratamientos por irradiación de los tipos de alimentos indicados no los convierten en radiactivos (Rowley 1980). Roberts e Ingram (Roberts 1965) estudiaron la resistencia a la radiación de las esporas de *C. botulinum* en medios acuosos y comprobaron que estos valores son considerablemente menores que los que se obtienen en los productos cármicos. Todas las cepas fueron irradiadas a temperaturas comprendidas entre 18° y 23°C y en los cálculos de D se supuso una tasa de mortalidad (índice de mortalidad) exponencial.

Con respecto al efecto de la radiación sobre las esporas de *C. perfringes*, se comprobó que, en un medio acuosos, una sola cepa de un total de cinco cepas diferentes (de los tipos A, B, C, E y F) tenía valores D comprendidos entre 0.15 y 0.25 (Roberts 1965). Se averiguó que los valores 12D para ocho cepas de este microorganismo oscilaban entre 30.4 y 41.4 kGy, dependiendo de la cepa y del método utilizado para calcular las dosis correspondientes a 12D (Clifford 1975).

Se averiguó que los valores  $D_{10}$  de radiación para *Listeria monocytogenes* en el queso de Mozzarella y en el helado eran 1.4 y 2.0 kGy, respectivamente, habiéndose irradiado la cepa Scott A a -78°C (Hashisaka 1989). Los respectivos valores calculados para 12D fueron 16.8 y 24.4 kGy. Para llevar a cabo la radapertización del helado y del yogurt congelado, 40 kGy fueron suficientes, pero no para los quesos de Mozzarella y de Cheddar (Hashisaka 1990). La dosis de radapertización para *Bacillus cereus* en el queso y en el helado fue de 40 a 50 kGy.

Los virus son considerablemente más resistentes a la radiación que las bacterias. Sullivan *et al.* (Sullivan 1971) comprobaron que en el medio mínimo fundamental de Eagle suplementado con un 2% de suero los valores D de

radiación de 30 virus oscilaban entre 3.9 y 5.3 kGy. Los 30 virus incluían coxsackievirus, echovirus y poliovirus. Los valores D de cinco virus seleccionados sometidos a los rayos del Co-60 en agua destilada oscilaron desde 1.0 a 1.4 kGy. El uso de un tratamiento de radiación de 12D para destruir los microorganismos de *C. botulinum* en productos cárnicos daría por resultado la supervivencia de las partículas víricas a no ser que se hubiesen destruido previamente por otros métodos como, por ejemplo, por calentamiento.

Los enzimas también son muy resistentes a la radiación, habiéndose averiguado que dosis de 20 a 60 kGy sólo destruyen un 75% de la actividad proteolítica de la carne picada de vaca. Sin embargo, cuando se combinó el blanqueo a 65°C ó 70°C con la radiación, dosis de 45 a 52 kGy destruyeron, como mínimo, el 95% de la actividad proteolítica de la carne de vaca. En la tabla No. 10 se indican los valores D de radiación para varios microorganismos.

Los principales inconvenientes de la aplicación de radiación a algunos alimentos son las modificaciones de color y/o la producción de olores extraños. Por consiguiente, aquellos alimentos que experimentan modificaciones relativamente poco importantes de color y de olor son los que han sido objeto de mayor cantidad de estudios para ser sometidos a la radapertización comercial. El tocino entreverado es un producto alimenticio que sólo experimenta ligeras modificaciones en la aparición del color y del olor como consecuencia de la radapertización. Se comprobó que las puntuaciones preferenciales medias correspondientes al tocino entreverado radapertizado frente a tocino entreverado testigo eran bastante iguales, habiéndose concedido una puntuación sólo ligeramente más alta al tocino entreverado utilizado como testigo (Wierbicki 1965). En una mayor variedad de alimentos irradiados, las puntuaciones de aceptación adjudicadas correspondieron a la clase de los alimentos agradables (Josephson 1975).

La radapertización del tocino entreverado es un procedimiento de reducir las nitrosaminas. Cuando se irradió tocino entreverado que contenía 20 ppm de  $\text{NaNO}_2$  + 550 ppm de ascorbato sódico con una dosis de 30 kGy, las

concentraciones de nitrosaminas resultantes fueron parecidas a las del tocino entreverado exento de nitritos (Fiddler 1981).

### **Radicación**

Algunos autores han demostrado que la irradiación a dosis de 2 a 5 kGy es eficaz para destruir microorganismos patógenos asporógenos y de naturaleza no vírica y que no tiene riesgo alguno para la salud. Kampelmacher indica que a las carnes de aves de corral frescas se les debe conceder la máxima prioridad puesto que con frecuencia están contaminadas con salmonelas y puesto que la radiación es eficaz en alimentos preenvasados, eliminándose de este modo la contaminación cruzada. El tratamiento de las canales de pollo, tanto refrigeradas como congeladas, con 2.5 kGy, fue muy eficaz para destruir salmonelas. La Organización Mundial de la Salud ha autorizado dosis de radiación de incluso 7 kGy (0.7 Mrad) por ser "absolutamente inocuas para el consumo humano". Cuando se trataron semillas de cacao enteras con 5 kGy, se destruyó el 99.9% de la flora bacteriana, mientras que las esporas de *Penicillium citrinum* se redujeron aproximadamente 5 ciclos logarítmicos/g y, con una dosis de 4 kGy, las esporas de *Aspergillus flavus* se redujeron aproximadamente 7 ciclos logarítmicos/g. En algunos países se ha autorizado la radicación de las canales de aves de corral frescas, la del bacalao y pescado rojo, y la de las especias y condimentos (tabla No. 11).

### **Radurización**

En algunos estudios se han verificado tratamientos de irradiación con el fin de prolongar la vida útil de los alimentos marinos, de las hortalizas y de las frutas. Mediante radurización con dosis de 1 a 4 kGy se puede prolongar del doble al séxtuplo la duración de la vida útil de los camarones, de los cangrejos y de las almejas. Con diversas formas de envasado se pueden conseguir resultados parecidos. Los bacilos asporógenos gramnegativos son los más sensibles a la

radiación de entre todas las bacterias y son los principales microorganismos que alteran estos alimentos. Después de la irradiación de carne picada de cerdo envasada al vacío con dosis de 1.0 kGy y conservada a 5°C durante 9 días, el 97% de la flora irradiada estuvo integrada por bacterias grampositivas, la mayoría corineformes. Se ha comprobado que los cocobacilos gramnegativos pertenecientes a los géneros *Moraxella* y *Acinetobacter* poseen un grado de resistencia a la radiación mayor que el de todas las demás bacterias gramnegativas. En estudios realizados en carne picada de vaca sometida a dosis de radiación absorbida de 272 krad (2.72 kGy), Tiwari y Maxcy comprobaron que del 73 al 75% de la flora superviviente estaba integrada por géneros emparentados. En una carne no irradiada, los géneros emparentados sólo constituyeron el 8% de la flora. Al comparar la resistencia a la radiación de los microorganismos pertenecientes a los dos géneros antes citados, las especies de *Moraxella* se mostraron más resistentes que las especies de *Acinetobacter*, habiéndose encontrado para estos microorganismos valores  $D_{10}$  de 273 a 2.039 krad (2.73 a 0.02039 kGy). Si este hallazgo es correcto, algunos de estos microorganismos figuran entre los más resistentes a la radiación de todas las bacterias. Entre las especies que mostraron mayor grado de resistencia, las cepas de *M. nonliquefaciens* presentaron valores  $D_{10}$  de 539 y 583 krad, mientras que el valor  $D_{10}$  de las cepas de *M. osloensis* varió desde 477 hasta 1,000 krad (10 kGy).

Al comparar la sensibilidad a la radiación de algunas bacterias asporógenas en tampón de fosfato a -80°C, Anaellis *et al.* comprobaron que *Deinococcus radiodurans* resistía dosis de 18 kGy, que *Enterococcus faecium* resistía de 9 a 15 kGy, que *E. faecalis* resistía de 6 a 9 kGy, y que *Lactococcus lactis* no resistía 6 kGy. *Staphylococcus aureus*, *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus arabinosus* no sobrevivieron a exposiciones de 3 kGy. Se comprobó que la sensibilidad a la radiación disminuía conforme descendía la temperatura de irradiación, lo mismo que en el caso de las endosporas.

La alteración definitiva de los alimentos radurizados conservados a baja temperatura es causada invariablemente por una o más especies de los géneros *Acinetobacter* *Moraxella* o por los tipos de bacterias acidolácticas

indicadas anteriormente. La aplicación de 2.5 kGy a carne picada de vaca destruyó todas las pseudomonas, las Enterobacteriaceae y *Brochothrix thermosphacta*; redujo los recuentos de aerobios en placa (APC) a cifras cuyos logaritmos oscilaron desde 6.18/g a 1.78/g; pero en las bacterias acidolácticas las cifras correspondientes a los recuentos sólo se redujeron hasta un valor cuyo logaritmo fue 3.4/g (Niemand 1983).

La radurización de las frutas con dosis de 2 a 3 kGy prolonga su vida útil 14 días como mínimo. La radurización de las frutas frescas está permitida por al menos seis países y en otros varios países está permitida en algunas carnes, en las canales de aves de corral y en los alimentos marinos (tabla No. 16). En general, en las frutas radurizadas, la prolongación de la vida útil no es tan importante como lo es en las carnes y en los alimentos marinos ya que generalmente los mohos son más resistentes a la irradiación que las bacterias gramnegativas que alteran los citados alimentos.

Los huevos y las larvas de los insectos se pueden destruir con 1 kGy y los cisticercos de las taenias del cerdo (*Taenia solium*) y de los bóvidos (*Taenia saginata*) se pueden destruir con dosis incluso menores; las canales infestadas con cisticercos se pueden sanear mediante exposición a dosis de radiación de 0.2 a 0.5 kGy (Verster 1977).

#### 4.5 Naturaleza de la Resistencia a la Radiación de los Microorganismos

Las bacterias más sensibles a la radiación ionizante son los bacilos gramnegativos como, por ejemplo, las pseudomonas; las células gramnegativas de forma cocobacilar de las moraxelas y de los acinetobacters se encuentran entre las más resistentes de las gramnegativas. Los cocos grampositivos son las más resistentes de las bacterias asporógenas, incluidos los micrococos, los estafilococos, y los enterococos.

Se ha estudiado la influencia de las condiciones oxidantes y reductoras sobre la resistencia de *Deinococcus radiodurans* en tampón de fosfato; en la tabla No. 12 se indican los hallazgos. La inundación del medio con suspensiones de

tampón con nitrógeno o con O<sub>2</sub> no tuvo influencia significativa sobre la sensibilidad a la radiación cuando se comparó con el medio testigo, ni tampoco influyó la presencia de 100 ppm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. El tratamiento con cisteína volvió menos sensibles a las células, mientras que el ascorbato aumentó su sensibilidad. Un estudio de la influencia de la N-etilmaleimida (NEM) y del ácido indolacético (IAA) sobre la resistencia de los microorganismos puso de manifiesto que el IAA reducía la resistencia pero que la NEM, cuando se utilizaba en dosis atóxicas, no la reducía (Lee 1963). La presencia o la ausencia de O<sub>2</sub> no ejerció influencia alguna sobre estos dos compuestos.

#### 4.5.1 Biología de las Especies Extraordinariamente Resistentes

Las más resistentes de todas las bacterias asporógenas son cuatro especies del género *Deinococcus* y una de cada uno de los géneros *Deinobacter*, *Rubrobacter* y *Acinetobacter*. Los deinococos fueron primeramente incluidos en el género *Micrococcus*, si bien éstos, junto con el género *Deinobacter* y el género *Thermus* de las arqueobacterias, constituyen uno de los 10 principales *phyla*. Los deinococos se presentan formando parejas o tetradas, contienen pigmentos rojos insolubles en agua, tienen una temperatura óptima de crecimiento de 30°C, contienen L-ornitina como aminoácido básico de su mureína (a diferencia de los micrococcos que contienen lisina) y se caracterizan por su contenido de G + C en moles % comprendido entre 62 y 70. No contienen ácidos teicoicos. Una de las características más insólitas de este género, a diferencia de las demás bacterias gramnegativas, es la posesión de una membrana externa. Se ha señalado que se trata de clonas gramnegativas del linaje de sus antepasados (Counsell 1986).

Una de las características insólitas de los deinococos es la posesión de palmitoleato (16:1), que constituye aproximadamente el 60% de los ácidos grasos en su envoltura y aproximadamente el 25% de los ácidos grasos totales de la célula. El elevado contenido de ácidos grasos es otro rasgo característico de las bacterias gramnegativas. La quinona isoprenoide predominante en su membrana plasmática es una menaquinona. Las menaquinonas constituyen uno de los dos



grupos de naftoquinonas implicadas en el transporte de electrones, en la fosforilación oxidativa, y tal vez en el transporte activo (Collins 1981). La longitud de las cadenas laterales isoprenílicas del C-3 varía desde 1 a 14 unidades de isopreno (MK), y los deinococos se caracterizan por poseer MK-8, lo mismo que algunos micrococos, planococos, estafilococos y enterococos (Collins 1981). Los deinococos no contienen fosfatidilglicerol ni difosfatidilglicerol en sus fosfolípidos pero en su lugar, como componente principal, contienen fosfoglucolípidos.

El género *Deinobacter* comparte muchos de los rasgos de los deinococos, excepto el de que sus especies son bacilos gramnegativos. *Rubrobacter radiotolerans* es un bacilo gramnegativo que es muy parecido a los deinococos, pero el aminoácido básico de su mureína es la L-lisina en lugar de la L-ornitina. *Acinetobacter radioresistens* es un bacilo gramnegativo de forma cocobacilar que presenta algunas diferencias con respecto a los deinococos. El contenido de G + C en moles % de su DNA está comprendido entre 44.1 y 44.8, y su quinona isoprenoide predominante es Q-9, no MK-8.

Los deinococos han sido aislados en carne picada de vaca, en embutidos de carne de cerdo, en las pieles de los animales, en el agua de estuarios (Krabbenhoft 1965) y en el eglénfimo. Se ha señalado que también se encuentran en las heces, en el serrín y en el aire. *Deinobacter* se aisló en heces de animales y en el pescado de agua dulce, *Rubrobacter* en un manantial caliente en Japón y *A. radioresistens* en algodón y en muestras de tierra.

Los deinococos poseen diversos carotenoides y su membrana plasmática aislada tiene un color rojo vivo.

Los valores D de radiación de las especies que no son deinococos están comprendidos entre 1.0 y 2.2 kGy, mientras que algunas cepas de deinococos son capaces de resistir 15 kGy. *D. radiophilus* es la especie más radiorresistente.

#### 4.5.2 Mecanismos de Resistencia Aparentes

No se sabe por qué razón los microorganismos son tan resistentes a las radiaciones. Se ha observado la excepcional resistencia de los deinococos a la

deseccación, suponiéndose que está relacionada con alguna forma de radiorresistencia. Es posible que la complicada envoltura celular de estos microorganismos sea un factor de radiorresistencia, aunque se carece de datos exactos sobre este particular. Todos ellos son muy pigmentados y contienen diferentes carotenoides, hecho que indica cierta relación con la radiorresistencia. Sin embargo, se ha comprobado que estos pigmentos no desempeñan papel alguno en la radiorresistencia de *D. radiophilus* (Kilburn 1958 y Lewis 1974). Entre algunos de los acontecimientos químicos que ocurren en la materia orgánica por causa de la irradiación son: primero la radiólisis del agua lleva a la formación de radicales libres y peróxidos, y los microorganismos sensibles a la radiación se muestran incapaces de superar sus efectos nocivos. Los compuestos químicos que contienen grupos -SH tienden a ser protectores frente a las radiaciones, pero todavía no se sabe qué papel desempeñan, si es que desempeñan alguno, en la excepcional radiorresistencia de las bacterias.

Parece ser que los mecanismos eficaces de reparación del ácido nucleico son una causa de la excepcional radiorresistencia. En *D. radiodurans* se ha demostrado la reparación enzimática de las lesiones producidas por las radiaciones (Moseley 1976). Asimismo, se ha demostrado que *D. radiophilus* posee un eficaz sistema de reparación de las eccisiones (Lavin 1976).

---

---

CAPÍTULO V

EFFECTOS DE LA RADIACIÓN EN LOS ALIMENTOS

---

---

## 5. Radiación en los Alimentos

Las radiaciones ionizantes producen grandes cambios químicos en los materiales irradiados. Bajo condiciones ordinarias cualquier sustancia oxidable puede ser oxidada y cualquier sustancia reducible puede ser reducida. Los efectos biológicos de la radiación son resultado de cambios discretos en las estructuras atómica y molecular del material irradiado, aunque probablemente menos del 0.01% de las ligaduras químicas son afectadas (Chopin et al. 1980).

### 5.1 Mecanismos de la Radioconservación

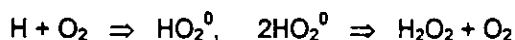
Al ser atravesada la materia por cualesquiera de las formas de radiaciones ionizantes (beta, catódica, gamma, rayos X), se absorbe energía y se producen pares iónicos. La energía se absorbe por colisión de la radiación ionizante con las partículas del alimento causando excitación e ionizando miles de átomos en su trayectoria, lo que ocurre en períodos de tiempo de menos de 0.001 segundos. La radiación primaria distribuye su energía a través de todo el volumen de absorbedor, muchos de los electrones que fueron expulsados de los átomos gracias a la ionización, pueden ellos mismos poseer suficiente energía para ionizar otros átomos (Navarrete et al. 1979).

La producción del par iónico por las radiaciones ionizantes es un proceso muy eficiente, ya que se gasta muy poca energía en la esterilización por radiación, del orden de 1/150 veces de la requerida para la esterilización térmica (Navarrete et al. 1979).

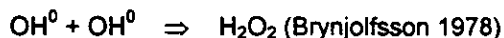
Ha sido presentada evidencia que indica que el "golpe directo" puede ser responsable de algunos efectos biológicos específicos, pero que muchos efectos son causados en todo o en partes por la radiación que induce la ionización del sistema solvente del material biológico (Elias et al. 1977). La irradiación de un material que contiene agua, causa la ionización de una parte de las moléculas de agua con la formación de hidrógeno altamente reactivo y radicales hidróxilos, los

cuales contribuyen sustancialmente a los efectos biológicos de la radiación ionizante, así, hay un efecto indirecto de la irradiación de tejidos húmedos causado por éstos radicales libres (Brynjolfsson 1978).

El hidrógeno y los radicales hidróxilo son químicamente muy activos y pueden actuar como agentes reductores y oxidantes. Secundariamente, los productos de la irradiación pueden ser de igual importancia, ya que en presencia de oxígeno disuelto el átomo de hidrógeno puede combinarse con oxígeno molecular para dar el muy reactivo radical peróxido ( $\text{HO}_2^\cdot$ ), que a su vez puede formar peróxido de hidrógeno:



Los radicales hidróxilo también pueden formar peróxido de hidrógeno:



## 5.2 Efecto en las Proteínas

Con el desarrollo de los instrumentos aceleradores de electrones y la producción de productos de fisión de alta actividad, comenzó el proceso de investigación intensiva. Sus efectos en los alimentos han sido objeto de mucho estudio, incluyendo la investigación sobre los efectos de radiación en las proteínas componentes (Bandyopadhyay 1978).

Los alimentos de alto contenido proteico pueden exhibir grandes cambios en el sabor cuando son esterilizados con radiaciones ionizantes o por métodos convencionales (Auda et al. 1981).

Puede haber desnaturalización de proteínas con radiaciones ionizantes como un resultado de la acción indirecta de la radiación. Las dosis de radiación lo

suficientemente grandes como para precipitar las proteínas desarrollan la siguiente secuencia de eventos:

1. Apertura de las cadenas de péptidos,
2. polimerización,
3. coagulación,
4. precipitación

La movilidad electroforética de las proteínas es reducida a niveles de alta radiación. Compuestos de amoníaco que contienen azufre y bióxido de carbono son liberados de las proteínas después de irradiación prolongada (Diehl 1981).

Los efectos de la irradiación varían inversamente con la concentración de proteínas. En la irradiación de proteínas también se observan desaminación y descarboxilación, los productos resultantes son los ácidos orgánicos y aminos correspondientes con un carbón menos que la estructura original.

La celulosa es hecha más soluble por medio de irradiación.

El peso molecular de las dextrinas puede ser reducido con radiaciones ionizantes controladas (Elias et al .1977).

El uso potencial de la radiación ionizante como una operación unitaria en la manipulación de carbohidratos poliméricos parece prometedor.

Los cambios de almidón a azúcar forman el proceso hidrolítico normal en la maduración de las frutas y pueden ser aumentados con radiaciones ionizantes (Elias et al. 1977).

### 5.3 Efecto en los Lípidos

Se ha encontrado que los lípidos son sensibles a la radiación. Las radiaciones ionizantes causan la destrucción de los antioxidantes de ocurrencia natural , por lo que enseguida se forman peróxidos y aparecen los compuestos carbónilicos (Grunewald 1978).

En general, la mayoría de los aceites vegetales y grasas de origen animal, aumentarán sus peróxidos y su acidez por la exposición a dosis altas de radiaciones ionizantes.

La irradiación de ácidos grasos saturados puros en ausencia de oxígeno, da como resultado la formación de hidrógeno, bióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de agua y gases de hidrocarburos volátiles. El producto principal no volátil es un simple hidrocarburo parafínico pues ocurre una descarboxilación (Hahn 1936).

En una emulsión acuosa, la principal reacción que ocurre en ausencia de oxígeno es causada por el sistema de radical libre creado en la ionización del agua. La interacción de radicales libres con componentes lipídicos es la reacción principal (Grunewald 1978).

Los productos radiolíticos de los lípidos (químicamente descompuestos por irradiación), han sido estudiados, la reacción principal involucra el rompimiento de una ligadura sencilla seguida por la abstracción de un hidrógeno. Otras reacciones frecuentes son rompimiento del enlace aciloximetileno causando los ácidos grasos libres que parten de los triglicéridos. También puede ocurrir un rompimiento de las ligaduras carbono-carbono con el resultado de un espectro de hidrocarburos alifáticos.

Estos efectos se ven notoriamente reducidos por irradiación a temperatura de congelación (Hahn 1936).

#### 5.4 Efecto en las Vitaminas, Minerales y Enzimas Biológicas

##### Efecto en las Vitaminas

Las vitaminas generalmente son sensibles a las radiaciones ionizantes, y en los alimentos, la destrucción de éstos nutrientes es de la misma magnitud que la destrucción de vitaminas en el procesado térmico (Bandyopadhyay et al. 1978).

La vitamina K es particularmente sensible a daño por irradiación.

El ácido ascórbico reacciona muy rápido con los radicales  $\text{OH}^\bullet$  formados en el agua. El producto final de la reacción es el ácido dehidroascórbico (Bandyopadhyay et al. 1978).

A dosis de esterilización, la tiamina y el ácido ascórbico son destruidos casi en el mismo grado que en la esterilización por calor. Si se irradia el alimento en estado congelado, se reduce la destrucción de estas vitaminas. La tiamina y el ácido ascórbico se destruyen durante el almacenamiento en el mismo grado que en muestras o paquetes de alimento no irradiado (Inouwaert et al. 1978).

#### Efecto en los Minerales

No se ha detectado ningún cambio notable, aún a las dosis de esterilización mayores o iguales a 2.5 Mrad (25 kGy) irradiando los alimentos con rayos gamma del Cs-137 o del Co-60 o con electrones acelerados (Inouwaert et al. 1978).

#### Efecto en las Enzimas Biológicas

Las enzimas pueden ser inactivadas por efecto directo o por efecto indirecto de las radiaciones ionizantes, aunque ambos ocurren al mismo tiempo.

Las enzimas son más resistentes a los efectos de las radiaciones ionizantes en los sustratos naturales que en soluciones puras (Taub et al. 1980).

Las velocidades de reacción enzimática han sido estudiadas considerando el efecto de la irradiación sobre la enzima, el sustrato y su combinación, sobre la actividad resultante. Una dosis de radiación que no destruya la enzima en un sustrato adecuado, se encontrará con la reacción iniciada. Si una enzima no tratada reacciona con un sustrato irradiado, la velocidad de reacción aumenta comparada con la de un sustrato no irradiado, lo que se debe probablemente a una activación de sustrato pues existe un desdoblamiento de la molécula volviendo el punto de ataque más accesible para la enzima (Taub et al. 1980).

La inactivación de las enzimas por calor húmedo usualmente coincide con la destrucción térmica de las forma vegetativas de los microorganismos, lo cual no ocurre con la conservación de alimentos por irradiación; la completa inactivación



de las enzimas requiere dosis del orden de 5 veces la requerida para destrucción de los microorganismos (Nair et al. 1978).

Muchas enzimas tienen pesos moleculares de alrededor de 10,000 unidades y no se reducen de manera significativa aún a dosis de esterilización, lo que contrasta con la esterilización con calor que inactiva la mayoría de las enzimas.

Una combinación de tratamiento con calor e irradiación con rayos gamma ha demostrado ser efectiva en la inactivación enzimática y aumento del periodo de utilidad de frutas frescas con dosis de radiación relativamente bajas (unos cuantos kGy) (OMS 1981).

### 5.5 Cambios Físicos y Organolépticos

Se han efectuado experimentos con tropas voluntarias de los Estados Unidos, mediante los cuales se ha querido probar la aceptabilidad de los alimentos conservados por radiaciones ionizantes. Estos experimentos se han llevado a cabo con lomo de puerco con enzimas inactivadas mediante calor suave y al que se aplicó una dosis de 4.8 Mrad (48 kGy) almacenado en paquetes adecuados durante un año a la temperatura ambiente. Los resultados revelaron que este producto tuvo la misma aceptación que el lomo de puerco fresco entre varios cientos de consumidores. También se ha probado con tocino esterilizado con los mismos resultados satisfactorios (Van Kooij et al. 1978).

La adición de paquetes de carbón en los recipientes de alimentos irradiados resulta en gran mejoría del olor de los alimentos después del almacenamiento, y son particularmente efectivos en los alimentos precocinados listos para comer.

Se ha encontrado un sabor extraño en los alimentos irradiados que puede desaparecer en el almacenamiento, lo que resulta muy útil para el éxito del proceso (Van Kooij et al. 1978).

## 5.6 Cambios Microbiológicos

La acción de las radiaciones ionizantes sobre una célula puede dividirse en tres períodos:

a) Período de principio: se relaciona con la situación celular en el momento de la irradiación

b) Período medio: ocurren las reacciones que llevan al efecto final

La célula está en un estado fisiológico de alteración de su núcleo, probablemente debida a la acción indirecta de las radiaciones sobre el citoplasma de la célula o aún debido a la activación del medio que rodea a la célula.

c) Período final: es la expresión de los efectos de la radiación como letalidad, mutaciones genéticas, inhibición del crecimiento y alteraciones en los requerimientos de nutrientes (Snauwaert et al. 1978).

Las condiciones circundantes de los microorganismos vivientes antes y después de la irradiación, modifican los efectos letales, por ejemplo, la presencia de oxígeno en las suspensiones celulares proporciona mayor resistencia sobre los organismos hacia las radiaciones ionizantes.

Las esporas bacterianas son más resistentes a la acción germicida de las radiaciones ionizantes que las células vegetativas (Snauwaert et al. 1978).

Las características del alimento dictan los tipos de microorganismos capaces de descomponerlo. La clasificación por acidez de los alimentos es útil tanto en el enlatado, como en la esterilización por radiación (Morganstem 1978).

A valores de pH arriba de 4.5 debe considerarse seriamente el *Cl. botulinum* que es el organismo más resistente al calor causante de dificultades. La dosis de esterilización debe basarse en la ausencia de células viables de *Cl. botulinum*.

Ciertos microorganismos como el *Micrococcus radiodurans*, poseen resistencia poco usual a la radiación, ya que sobrevive a dosis que eliminan al *Cl. botulinum*. Otros micrococos rojos y estreptococos fecales son inusualmente resistentes y sobreviven (junto con levaduras y mohos), a las dosis usualmente

dadas para la pasteurización por radiación. Algunas levaduras patógenas pueden sobrevivir a dosis consideradas satisfactorias para la pasteurización por radiación.

La resistencia a la radiación de algunas bacterias, puede ser aumentada paso a paso hasta en dos veces por unas pocas dosis repetidas a un nivel de dosis constante y varias veces por un aumento progresivo de las dosis aplicada (Morganstem 1978).

Factores que influyen la supervivencia de microorganismos de un proceso de irradiación:

a) Tipo de radiación: las radiaciones de neutrones o partículas alfa (partículas pesadas), tienen un efecto menor sobre los microorganismos vegetativos que las radiaciones de fuentes de electrones o gamma y no puede ser usada para irradiación de alimentos pues puede inducirse con neutrones, radiactividad a bajo nivel en el material irradiado.

b) Condiciones circundantes:

- Oxígeno, la presencia de oxígeno aumenta dos o tres veces la sensibilidad de las bacterias vegetativas a la irradiación.

- Temperatura, los efectos de la irradiación son diferentes arriba y abajo del punto de congelación del sistema. La congelación reduce los efectos de la radiación en el alimento y también reduce el efecto sobre las bacterias vegetativas, aunque existe evidencia de que las esporas de *Cl. botulinum* no son protegidas de forma similar.

- Compuestos orgánicos, generalmente los microorganismos son más resistentes a la irradiación en un medio orgánico, para propósitos prácticos es esencial hacer observaciones con sustratos alimenticios.

- Sales inorgánicas, muchas sales, como el cloruro de sodio, no tienen ninguna influencia importante sobre los efectos inmediatos de la irradiación,

pero si tienen influencia sobre la recuperación. Pocas sales como los nitritos y sulfitos tienen efecto protector.

- Compuestos protectores, muchos compuestos orgánicos, incluyendo compuestos del SH<sup>-</sup> sensibilizan a los microorganismos a la radiación, pero con frecuencia resultan altamente tóxicos para los mamíferos (por ejemplo los acetatos halogenados).

Otra posibilidad es el uso de procesos químicos o físicos para provocar la germinación de todas las esporas antes de aplicar la radiación (Merrit et al. 1978).

La irradiación de alimentos es el ÚNICO TRATAMIENTO conocido hasta la fecha, que puede ser aplicado en cualquier material de empaque (papel, cartón, plástico, vidrio, madera o latas metálicas), evitándose así el peligro de la recontaminación o reinfestación del producto. Los alimentos pueden ser tratados sin cocinar, semi-preparados, semi, o totalmente deshidratados, o en forma natural, ya que el tratamiento es considerado como "frío" (Merrit et al. 1978).

---

---

CAPÍTULO VI

HISTORIA DE LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS

---

---

## 6. Breve Historia

Los estudios hechos sobre el proceso de irradiación para conservar a los alimentos, han sido muy completos y el período de tiempo en que se realizaron fue prolongado; cerca de 40 años de investigación en todas las disciplinas relacionadas con la efectividad e inocuidad de los alimentos tratados con radiación, fueron llevados a cabo en programas nacionales e internacionales de muchos países (Sivinski 1990).

Esta sección se presenta con el fin de mostrar como fue evolucionando a través del tiempo, la efectividad del proceso de irradiación en los alimentos; a continuación se citarán en forma secuencial los principales estudios sobre irradiación de alimentos:

Se inicia el ciclo de la irradiación con el fin de conservar los alimentos en 1895 con el descubrimiento de los rayos X hecho por Roentgen. En 1896 Bequerel descubre la radiactividad (Goresline 1964, Goldblith 1966).

En este mismo año Minck (1896) inicia investigaciones acerca de los efectos de la radiación en bacterias y vislumbra la posibilidad de una eventual aplicación (Sivisky 1985).

En 1904 S. Prescott del Instituto Tecnológico de Massachusetts sugiere la utilización de rayos X o radiactividad en la preservación de los alimentos (Goldblith 1966).

Goresline (1977) en una investigación exhaustiva sobre aspectos históricos de la irradiación de alimentos nos muestra algunos de estos datos:

En 1921 Shwartz de E. U. A. obtiene la primera patente sobre irradiación de carne con rayos X, para eliminar *Triquinella*.

Wust en 1930 en Francia, también patenta el uso de la irradiación con el título "Los alimentos de todas clases son empacados y sellados en contenedores metálicos y son expuestos a la acción penetrante de los rayos roentgen de alta tensión para mutar toda clase de bacterias".

En 1943, Proctor, Van de Graaf y Fram realizan trabajos sobre esterilización de hamburguesas utilizando rayos X de un acelerador electrostático.

En 1948 Brush y Huber describen la exposición de los alimentos crudos a electrones provenientes de un aparato llamado capacitron en un tiempo corto, logrando una penetración de 24 mm. Más adelante estos mismos investigadores realizan estudios sobre propiedades organolépticas de los alimentos expuestos a este tipo de radiación.

En 1949 Alicata y Burr reportan los efectos de la radiación en *T. Spiralis*.

Gaden et al. en 1951 utilizan rayos X con energía de 2 Mev para eliminar microorganismos en leche.

Proctor y Goldblith en 1951 resumen 5 años de investigaciones, concluyendo que los alimentos y medicamentos pueden ser esterilizados con radiación ionizante y sin calentamiento.

En 1952 Astrack et al. determinaron los efectos de los electrones de alta intensidad en vegetales y aceite de pescado bajo condiciones de vacío, encontrando que este tipo de energía no causa cambios organolépticos.

En los años 50's la posibilidad de aplicar el proceso de irradiación, ofrecía muchas promesas, sin embargo los investigadores carecían de equipo e información; fue en esa época que el gobierno de E. U. A. inició un programa nacional de irradiación de alimentos.

En 1953 el programa adquirió gran importancia cuando el presidente Eisenhower propuso la política de los átomos para la paz, fue así que la Comisión de Energía Atómica de E. U. A. inicia estudios sobre el uso de bajas dosis de irradiación para extender la vida de anaquel de varios productos alimenticios (granos, vegetales, carnes y productos marinos), otorgando contratos de investigación a otras instituciones como universidades, asociaciones de industriales, Departamento de Agricultura y ejército de ese país.

Simultáneamente en 1950, Canadá, Francia, Alemania, Inglaterra y Japón, también iniciaron sus actividades en este campo.

En 1961 el proceso de irradiación empezó a interesar a varios organismos internacionales, la primera reunión internacional al respecto se efectuó en

Bruselas, patrocinada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) con el fin de evaluar los trabajos relacionados con la inocuidad de los alimentos procesados por la irradiación (OMS 1981, IAEA 1989).

El primer permiso para irradiar alimentos para consumo humano, lo otorgó la URSS en 1958 para papas.

Canadá hace lo mismo en 1960, también para papas irradiadas (OMS 1981).

En E. U. A. se aprobó irradiar trigo y productos de éste, tocino y papas, en 1963.

En 1964 nuevamente se volvieron a reunir los organismos internacionales FAO, OIEA y OMS, creándose un comité mixto de expertos de alimentos irradiados; evaluaron los estudios sobre comestibilidad de los productos irradiados y recomendaron seguir con éstos de acuerdo a los procedimientos que se seguían para evaluar la inocuidad de los aditivos alimenticios (OMS 1981).

En 1966 se efectuó el primer Simposium Internacional sobre Irradiación de Alimentos en Karlsruhe Alemania; Josephson propone un documento sobre "Procedimientos para obtener permisos para consumir alimentos irradiados", este trabajo se basa en investigaciones intensivas realizadas durante 13 años.

En 1969 el comité de Expertos de FAO/OIEA/OMS se reunió nuevamente para evaluar los estudios toxicológicos realizados en el período de 1964-1969, basándose en todos esos estudios, recomienda utilizar la radiación en papas y trigo en forma provisional.

Con el fin de obtener mayor cantidad de datos sobre comestibilidad de los productos alimenticios, en 1971 se creó un Proyecto Internacional en el campo de la Irradiación de Alimentos (IFIP), en el cual participaron 23 países y lo patrocinó la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OECD), por FAO y por OIEA; financiado y conducido por los 23 países interesados en una aplicación práctica del proceso de irradiación para conservar los alimentos; el centro de operación fue el Instituto para la Tecnología de Irradiación del Instituto de



Investigación Federal para Alimentos y Nutrición, en el Centro de Investigación Nuclear Karlsruhe en Alemania Federal.

El IFIP condujo las investigaciones sobre un desarrollo de metodología apropiada para pruebas de seguridad de alimentos irradiados, durante 12 años se realizaron estas pruebas, llegando a los resultados finales: que ninguno de los estudios hechos, indicaron que los alimentos irradiados podrían ser perjudiciales a la salud, no se encontraron sustancias tóxicas o carcinógenos en estos productos (IAEA 1989, Food Irradiation Information 1981).

En 1976 se reunió nuevamente el Comité Mixto de Expertos FAO/OIA/OMS para revisar la información acumulada en el período de 1970-1976, se revisaron una multitud de estudios en animales, a los que se les dieron dietas de alimentos irradiados y recomendó la aceptación incondicional o bien provisional de diferentes productos, en esta reunión también se analizaron los resultados de estudios químicos, llegando a la conclusión de que muchos de estos productos radiolíticos resultantes de irradiar alimentos, estaban también presentes en los alimentos tratados con calor y otros procedimientos y no los consideraron nocivos y recomendaron más estudios de otros productos.

Los productos autorizados para consumo humano fueron:

Cebollas, arroz, bacalao fresco y pescado rojo (OMS 1981, IAEA 1989).

Después de 1976 el número de autorizaciones para irradiar productos alimenticios por diferentes gobiernos de muchos países del mundo se multiplicó rápidamente.

En el año de 1989, el Comité Mixto de Expertos FAO/OIEA/OMS, se reúne nuevamente y basándose en la totalidad de los estudios toxicológicos, radiación química y sobre la ausencia de efectos adversos, resultado de dietas irradiadas para animales de laboratorio, ganado y pacientes inmunológicamente incompetentes; el Comité concluyó que: "LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS A DOSIS PROMEDIO DE HASTA 10 KGY, NO REPRESENTA PELIGRO TOXICOLÓGICO, POR CONSIGUIENTE LAS PRUEBAS TOXICOLÓGICAS DE

**ALIMENTOS IRRADIADOS NO REQUIEREN DE NUEVOS ESTUDIOS\*** (OMS 1981, Food Irradiation Information 1981).

En 1983 la Comisión del Codex Alimentarius adoptó las recomendaciones del Comité de Expertos designada por FAO/OIEA/OMS y las incorporó a la Norma General del Codex para Alimentos Irradiados y a su Norma Conexa para el Funcionamiento de Instalaciones de Irradiación (Norma Codex Alimentarius 1983).

Desde entonces el número de aprobaciones de incrementó casi al 100%, comparados con la década de los 60's y 70's. Hasta ahora la irradiación ha sido aprobada por las autoridades de 37 países y se tienen aprobaciones para 71 productos alimenticios diferentes (Food Irradiation Newsletter, Vol. 19).

En México se autorizó la irradiación de alimentos en el año de 1988 (Ley General de Salud 1989).

---

---

CAPÍTULO VII

APLICACIONES PRÁCTICAS DE LA IRRADIACIÓN  
DE ALIMENTOS

---

---

## 7. Aplicaciones de la Irradiación de Alimentos

La preservación por irradiación es considerada un proceso "frío" porque únicamente se produce un pequeño incremento de temperatura en el alimento durante el proceso de preservación.

Esto lo hace bastante atractivo en algunos aspectos relacionados con el procesamiento de alimentos, tales como la pérdida de nutrientes. Así, la pequeña elevación de temperatura minimiza los cambios adversos de olor, aroma, textura, color y calidad nutricional. Los alimentos irradiados retienen, por consiguiente, más de la apariencia, el sabor y las características del alimento fresco.

Otra ventaja de este proceso de preservación es la flexibilidad, ya que la irradiación se puede usar para preservar una variedad de alimentos en un rango grande de tamaños y formas: canastas de papa, harina en sacos, pedazos completos de carne, pavos enteros, pescados, pollos, etc.

Este amplio margen de aplicaciones lo hacen útil para métodos usados al momento y quizá para futuros métodos industriales.

### 7.1 Radurización

El propósito de la radurización de carnes y aves es extender la vida útil de estos productos alimenticios. En parte debido a consideraciones microbiológicas y en parte a razones de calidad de los productos, la radurización de estos alimentos debe ser acompañada de refrigeración.

La radurización es un proceso que se realiza empleando dosis bajas de radiación. Su objetivo específico es reducir la población microbiana inicial hasta tal punto que sea necesario un período más largo para el deterioro final del alimento por acción de los microorganismos. La radurización no previene la descomposición final, únicamente sirve para retrasarla y este retraso constituye la extensión de la vida útil del producto.

Las carnes rojas de mayor interés son, las de res, ternera, puerco y cordero. De entre las aves, el interés de la radurización está limitado a la carne de pollo.

En productos cármicos, el objetivo principal es la aplicación de la radurización a carnes frescas.

Existen numerosas evidencias experimentales sobre la efectividad de la irradiación para retardar el crecimiento microbiológico en carnes frescas y en aves. Sin embargo, se producen algunos cambios los cuales ocurren en las carnes durante el aislamiento y que no están relacionados con la descomposición microbiana, que afectan adversamente la aceptación del consumidor. Estos son:

La oxidación de la mioglobina con el oxígeno atmosférico, produciéndose coloraciones grises o pardas.

La formación de un exudado líquido, como suero, proveniente de la superficie cortada.

La oxidación atmosférica de los lípidos de la carne, lo cual causa pérdidas de sabor.

El procedimiento desarrollado para controlar el proceso de deterioro de la carne fresca, tiene los siguientes pasos:

- a) A la carne cortada se le añade fosfato en una concentración no mayor al 0.5%. Esto se puede lograr sumergiendo la carne en una solución acuosa o por otros medios apropiados.
- b) Cada pedazo de carne es luego envuelto en una película flexible, permeable al oxígeno e impermeable a la humedad.
- c) Un número apropiado de pedazos cortados y empaquetados se coloca en un contenedor especial dentro del cual se produce vacío.
- d) El contenedor se irradia con dosis en el rango de 1 a 2 kGy a temperaturas de 0 y 10°C.
- e) El contenedor es después transportado y almacenado a temperaturas entre 0 y 5°C.
- f) En los lugares de expendio, los pedazos individuales cortados se extraen del contenedor una media hora antes de exhibirlos a la venta, en donde a

temperaturas de 0 - 5°C pueden permanecer tres días en óptimas condiciones.

El proceso anterior permite un almacenamiento de la carne durante tres semanas previas a su expendio, la carne in tratar puede ser almacenada únicamente durante tres días. La irradiación controlaría el deterioro microbiano, el fosfato reduce el exudado y preserva el color rojo de la carne, el sistema de empaquetado provee de condiciones anaeróbicas, excepto para los últimos tres días en que se realiza la venta, protege el color, previene la oxidación de lípidos y tiene un efecto final en el patrón de crecimiento microbiano.

## 7.2 Radicación

La radicación está orientada a la eliminación de organismos causantes de enfermedades y que son de interés para la salud pública. En el caso de carnes, ha tenido una gran aplicación en la eliminación de parásitos helmintos. Se ha publicado que una dosis de tres kGy seguida del almacenamiento de la carne de res durante siete días a 2°C es fatal para *Cysticercus bovis*.

En países como el nuestro, donde la incidencia de *triquinosis* y *cisticercosis* es muy elevada, el tratamiento de la carne mediante el empleo de radiaciones ionizantes, estaría ampliamente justificado.

Se han reportado, dosis dentro del intervalo de 0.02 - 0.03 kGy previenen la madurez de la *Trinchinella spirallis*. Estas son dosis substancialmente más pequeñas que las requeridas para causar la muerte inmediata de estos helmintos, pero al menos evita la reproducción de este parásito en el intestino del anfitrión.

### 7. 1. 2. 1 Pescados

Los estudios realizados con especies marinas, nos dicen, que el tratamiento con radiación ionizante puede ser usado ventajosamente para extender el almacenamiento de dichos productos a temperaturas de refrigeración. Sin

embargo, existen especies que no podrían ser enviadas de un país a otro a estas temperaturas, debido a que el deterioro continúa aún en refrigeración.

El tratamiento de pescado con radiaciones ionizantes a niveles óptimos de dosis, generalmente no afecta la textura o apariencia de estos productos, pero puede inducir algunos efectos en el olor y aroma del pescado cocido. Sin embargo, los resultados de análisis sensoriales a nivel expertos y consumidores indican que, cuando se aplican niveles de dosis apropiados existen pequeñas diferencias organolépticas entre el pescado fresco tratado con radiación ionizante y pescado no tratado.

La literatura indica que existen dosis máximas y óptimas que pueden ser aplicadas a pescados de mar, el nivel óptimo varía para diferentes especies entre 100 y 250 krad (10 kGy y 25 kGy).

#### 7. 1. 2. 2 Mariscos

Se ha encontrado que la carne de cangrejo cocida puede ser tratada con radiación ionizante a un nivel de alrededor de 200 krad (20 kGy) a fin de inducir una extensión apreciable de su vida de almacenamiento a temperaturas de refrigeración. Este tipo de carne que no puede ser enlatado o congelado con buenos resultados, puede ser tratado, entonces, con radiaciones ionizantes. Del mismo modo, carne de langosta podría ser procesada con radiaciones a dosis de 75 y 100 krad (7.5 y 10 kGy) para obtener una apreciable extensión de almacenamiento refrigerado de este producto.

Aún cuando la refrigeración puede ser suficiente para la preservación de este tipo de crustáceos, tratándose de mercados internos, existe un gran interés comercial por el uso de radiaciones, a fin de exportar estos productos a mercados europeos y otros por vía marítima, en lugar de transportarlos por vía aérea, que sería mucho más caro.

Camarones frescos y pelados, se pueden tratar con dosis de 100 y 200 krad (10 y 20 kGy) para permitir una extensión de su vida útil. Tal tratamiento permitiría el envío de camarón fresco, no congelado, dando como resultado una gran ahorro

de energía y dinero. Tratamientos combinados de irradiación más ciertos preservantes químicos permitirían prolongar, aún más, el tiempo de comercialización.

Es evidente que la carne de crustáceos que sea tratada con radiaciones ionizantes a fin de extender su periodo de almacenamiento en refrigeración, debe ser de la mejor calidad. Este tipo de tratamiento, al igual que otros existentes, no mejorará la calidad de un alimento en vías de descomposición, por lo que, si se tienen indicios de un estado inicial de descomposición de la carne de marisco durante el tratamiento, la extensión del periodo útil de vida será menor.

Como punto importante debemos tener en cuenta que la literatura nos recomienda que la carne cocida de cangrejo o langosta deberá estar preempacada en un material impermeable a la humedad y al oxígeno antes del tratamiento con radiaciones. Del mismo modo, en el caso de camarones.

Al igual que con pescados y moluscos, los mariscos y crustáceos, luego del tratamiento de radurización, deberán ser mantenidos a temperaturas cercanas al punto de congelamiento, para obtener la mayor extensión de la vida de almacenamiento, pues si se mantiene a temperaturas de 4°C y aún más altas, la descomposición ocurrirá rápidamente, obteniéndose, únicamente, una mínima prolongación de su vida útil.

### 7.1. 2. 3 Especies y Condimentos

La radurización de especies son procesos económicos y técnicamente factibles. Ofrecen, actualmente, solución al problema de la descontaminación de especies naturales, las cuales se usan, virtualmente, en todas las industrias de alimentos.

En general, la pimienta negra, la alcaravea, el jengibre y el orégano, son las especies más altamente contaminadas. La cuenta total de viables puede alcanzar niveles de 80 a 100 millones/gramo. En base a esto, se puede apreciar que la adición de condimentos en concentraciones del orden de 0.1 al 1% en productos



de carne, podría llevar a una contaminación de  $10^5$  a  $10^6$  microorganismos/g provenientes únicamente de dichas especies.

La mayor parte de la flora microbiana contaminante de especies, consiste en bacterias aeróbicas formadoras de esporas, por ejemplo, se ha encontrado *Bacillus cereus* y arroja cantidades superiores de éstas en otros alimentos.

En muchos casos, los condimentos contaminados han sido los responsables del deterioro de carnes enlatadas y otros productos.

La fumigación con óxido de etileno y óxido de propileno se ha usado comercialmente para matar insectos y disminuir la carga microbiana. Sin embargo, ambas sustancias han sido cuestionadas, pues se ha demostrado recientemente su mutagenicidad en diversas plantas y animales.

Las investigaciones comparativas de los tratamientos con óxido de etileno e irradiación gamma en ciertas especies, demostraron que la irradiación es más efectiva que el óxido de etileno para destruir la contaminación bacteriana.

Las dosis requeridas para la descontaminación de especies son moderadas. Una dosis de 0.4 a 0.5 Mrad (4 y 5 kGy) ha probado ser suficiente para reducir la cuenta de viables al nivel requerido por las industrias de carnes y enlatados. No se detectan cambios sensoriales de especies, a ese nivel de radiación. La recontaminación puede ser también prevenida ya que el producto se puede irradiar en su empaquetamiento final. Todos estos factores conjuntamente con la creciente demanda de las mismas, hacen que la radurización y radicación de especies como métodos de descontaminación, se conviertan en procesos muy promisorios.

#### 7. 1. 2. 4 Frutas y Vegetales

Todas las frutas y los vegetales son productos perecederos debido a cambios fisiológicos, enfermedades por hongos después de las cosechas y otros factores patológicos e infestación de insectos.

Cualquier técnica de preservación, para ser efectiva, deberá reunir las siguientes características:

Ser eficiente como tratamiento post-cosecha.

Retener las cualidades nutritivas de los productos.

Haber probado su capacidad para controlar larvas y huevos de insectos.

Tener un efecto sinérgico en el producto cuando se combine con otras técnicas de preservación.

Entre los objetivos principales de la irradiación de frutas y vegetales se tienen los siguientes:

Retardar la descomposición microbiana.

Controlar la infestación de insectos.

Inhibir la germinación y retardar la senescencia.

En general, la contaminación microbiana de las frutas es causada por hongos, por lo tanto, el grado de inactivación que se desea determinar y el intervalo de dosis aplicable.

La irradiación de frutas para el control de enfermedades posteriores a su cosecha se complica debido a la posibilidad de deterioro de ciertas características físicas de la fruta, como por ejemplo su textura. Cada tipo de fruta responde de manera diferente. Sin embargo, en general, se observan efectos positivos al emplear dosis del intervalo de 0.5 a 3 kGy.

En las fresas, el principal microorganismo causante de su deterioro es el hongo gris *Botrytis cinerea*. Este microorganismo crece a temperaturas bajas por lo que la propagación no puede ser controlada por refrigeración. La irradiación con dosis de 2 kGy (200 krads) retrasa efectivamente el deterioro de la fruta. El almacenamiento debe ser, sin embargo, en refrigeración, ya que otros microorganismos, también presentes en las fresas, tales como *Rhizopus stolonifer*, son relativamente resistentes a las radiaciones y crecerían a temperaturas de almacenamiento más altas.

Dosis de 2 kGy (200 krads) controlan la *Monilia fructicola* en durazno pero causan un suavizamiento de la fruta. Esta dosis puede ser reducida a 1 kGy combinando la irradiación con el tratamiento calórico de la fruta a 50°C por 5 minutos.

La infección causada por *Antracnosa* en mangos puede ser controlada con una dosis de 1.0 kGy, a la que sigue a un tratamiento con agua caliente. Igual

combinación de calor e irradiación se emplea para otro tipo de frutas, tales como las papayas y cerezas.

El retardo en la maduración y senescencia de frutos puede ser una de las más importantes aplicaciones de la irradiación de alimentos y es de particular interés, el retardo en la maduración de los plátanos. La irradiación en el estado verde maduro demora el comienzo de la maduración natural, siendo la respuesta en las diferentes variedades, *Montecristo* o *Gros Michel*, tratadas con 40 krad, (4 kGy) permanecen en el estado verde de cinco a seis días, a 26°C.

Dosis hasta de 2 kGy retardan la maduración de papayas. La variedad *Alfonso* retrasa su maduración, dependiendo de la temperatura de almacenamiento. Con una dosis de 25 krad (2.5 kGy) y almacenamiento a 20°C, el retraso puede ser de 10 días; almacenamientos a 5°C producen un retraso de hasta 40 días.

En el caso de los vegetales, el interés principal se ha concentrado en el retraso de la senescencia, la que es adversa para la aceptación de estos productos.

Una dosis de 80 krad (8 kGy) es un nivel óptimo para controlar la germinación de las papas, aunque las dosis varían un poco de acuerdo a las variedades. La razón de respiración decrece alrededor de un 30% inmediatamente después de la irradiación, sigue después un aumento hasta un nivel normal.

La acción de la radiación gamma previene la germinación tanto interna como externa en las papas.

Las cebollas responden de manera similar a las papas. Dosis entre 40 y 80 krad (4 y 8 kGy) son óptimas, dependiendo de las variedades. El mejor resultado se obtiene al aplicar el tratamiento de irradiación inmediatamente después de la cosecha.

La inhibición de la germinación ocurre también en camotes, yucas, ajo, jengibre, remolacha y zanahorias.

Los hongos comestibles sufren procesos de desecamiento luego de su cosecha y su capuchón se abre a los cinco o siete días a temperaturas entre los 0 y 4°C. La irradiación en el intervalo de dosis de 100 a 1000 krad (10 y 100 kGy)

retardan dicho proceso hasta 10 y 14 días. El efecto de preservación por radiaciones se mejora notablemente por el uso de un apropiado empaquetamiento para prevenir la desecación de los hongos comestibles y el intercambio de gases con la atmósfera.

#### 7. 1. 2. 5 Granos, Leguminosas y otros Productos

La preservación de granos y leguminosas en forma natural, se debe a su bajo contenido de humedad. Sin embargo, esos productos son susceptibles a varios problemas en los cuales la irradiación puede ser muy útil.

La infestación de insectos en los granos y leguminosas causa enormes pérdidas. En nuestro país éstas pueden alcanzar hasta un 30% del grano almacenado; además, si las condiciones de humedad son apropiadas, ciertos microorganismos, tales como hongos, pueden crecer en estos alimentos.

Los piensos y alimentos para animales están usualmente contaminados con bacterias del grupo *salmonella* y otros patógenos. En consecuencia, la carne, leche y huevos provenientes de animales que consumen tales piensos frecuentemente contienen también estos microorganismos.

La desinfestación, radicación y la radurización son, por consiguiente, aplicables a este tipo de alimento.

Para seleccionar la dosis apropiada para la desinfestación, es necesario conocer que tipo de insectos están involucrados en el ataque al producto y también la forma de almacenamiento de los mismos.

Dosis de 0.5 kGy son suficientes para la mayoría de granos y leguminosas almacenadas, aunque para ciertos productos y especies de insectos las dosis pueden ser un poco mayores. Debemos enfatizar, también, que las dosis entregadas no siempre producen una letalidad inmediata, pues ésta puede ocurrir transcurrido un cierto tiempo.

Tal como se puede esperar, el control de hongos requiere de dosis relativamente más altas. Por ejemplo, para retardar el crecimiento de hongos en trigo con un contenido de humedad del 15%, se requieren 2.5 kGy y en granos de

cacao almacenados a una humedad relativa del 95% y 26°C, se requiere dosis del orden de 5.0 kGy. Estas pueden ser reducidas a 0.5 kGy con un tratamiento previo a 100°C durante 15 minutos.

La producción de *afatoxinas* por el *Aspergillus flavus l.* puede ser inhibida con dosis de 3.5 kGy.

Los granos de café, tratados con 1.0 kGy para desinfestación de insectos producen un producto de aroma y sabor aceptables.

El efecto de suavizamiento causado por la irradiación se ha considerado como un medio para reducir el tiempo de cocido de sopas con vegetales deshidratados. Ya que los vegetales reaccionan de diferentes maneras a la radiación, se necesitan dosis diferentes para conseguir tal efecto.

El rendimiento en la extracción de jugo de frutas puede ser incrementado por irradiación; en uvas, el rendimiento puede alcanzar valores entre 2% y 28% o mayores según el nivel de la dosis empleada dentro del intervalo de 0.5 a 16 kGy.

Así mismo, el contenido de oligosacáridos en los granos de soya se puede reducir por irradiación y germinación controlada. Si veinticuatro horas después de la geminación se aplica una dosis de 25 kGy y luego se incuban los granos unas 72 horas adicionales y se secan con aire, el contenido de rafinosa y estaquiosa se reduce hasta un 75%.

---

---

CAPÍTULO VIII

COMESTIBILIDAD, ACEPTACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN  
DE ALIMENTOS IRRADIADOS

---

---

## 8. Pruebas de Comestibilidad en Alimentos Irradiados

Antes de que los alimentos irradiados puedan estar disponibles para el consumo, debe demostrarse que son inocuos cuando se consumen por largos períodos de tiempo. El concepto de comestibilidad se basa en las siguientes características:

- Ausencia de radiactividad inducida.
- Conservación del valor biológico y nutricional de los alimentos.
- Ausencia de efectos tóxicos o mutagénicos.

Cualquier método de conservación de alimentos debe llenar las siguientes características:

- Retener la calidad nutricional del alimento.
- El alimento debe quedar libre de microorganismos patógenos, degradadores y sus toxinas.
- El alimento debe quedar libre de los compuestos químicos que causan efectos tóxicos, cáncer, cambios genéticos y defectos congénitos.

El objetivo de las pruebas de comestibilidad es probar que el alimento es seguro para el consumo humano (Haschek 1978).

Las pruebas de comestibilidad frecuentemente se iniciaban con el desarrollo de un proceso particular de irradiación debido al tiempo requerido para completar las pruebas. En investigaciones subsecuentes sobre el proceso se descubrían factores que provocaban cambios en éste, y así el alimento irradiado para las pruebas de comestibilidad en animales resultaba tratado de diferente manera que la que se usaría en definitiva en la planta comercial.

Al diseñar las pruebas de comestibilidad se debe contar con los siguientes factores:

- Alimento (especificaciones del procesos y nivel en la dieta).
- Proceso: fuente de irradiación, dosis (entre límites definidos), temperatura y presión durante la irradiación, tiempo de

almacenamiento y condiciones de éste (antes y después de la irradiación).

- Empaque: consideraciones toxicológicas (Aiyar 1981).

Los experimentos llamados de "largo plazo" involucran más de seis meses de estudios de alimentación hasta años más o menos. Incluyen estudios de crecimiento, utilización del alimento, fertilidad, lactación, función de los diferentes órganos, hematología, mortalidad e histopatología.

Los experimentos a "corto plazo" tienen una duración de 4 semanas hasta seis meses aproximadamente (Haschek 1978).

Se usan varias pruebas a corto plazo para predecir carcinogénesis, entre ellas la prueba Ames, que utiliza diferentes niveles de histidina, mutantes deficientes de *Salmonella typhimurium* con y sin la acción de activación de las preparaciones microsomales de hígado de rata. Da un 91% de predicciones exactas usando carcinógenos conocidos y no carcinógenos y es la más ampliamente usada (Aravindakshan 1978).

El proceso que se utilizará para el tratamiento de los alimentos para consumo humano debe utilizarse para tratar el alimento de las pruebas de comestibilidad y debe usarse la misma dosis, así mismo debe simularse lo mejor posible la distribución de la dosis (Haschek 1978).

Por medio de un juicio científico se decidirá cuando se necesitan estudios de toda la vida del animal o cuando las pruebas de toxicidad a corto plazo serán suficientes para obtener un adecuado suplemento a la evidencia general disponible. Esta decisión sólo se toma considerando un sólo tipo de alimento (Brynjolfsson 1978).

El estudio sobre la comestibilidad de un determinado tipo de alimento puede involucrar tres fases:

- 1) Estudios toxicológicos a corto plazo con animales.
- 2) Estudios a corto plazo con humanos voluntarios
- 3) Estudios a largo plazo para comprobar la toxicidad y la calidad nutricional (Stoewsand 1981).



Al irradiar el alimento pueden ocurrir cambios químicos complejos, la naturaleza y toxicidad de las sustancias producidas puede no conocerse completamente. Según Hickman es práctico suministrar el alimento irradiado en la más alta proporción en la dieta para demostrar que no hay efectos indeseables en los animales tratados bajo estas condiciones, debe asegurarse que el suministro anormalmente alto de un sólo tipo de alimento no afecta a los animales experimentales. Las dietas de estudios a largo plazo pueden suplementarse para evitar cualquier pérdida en valor nutritivo y evitar cualquier deficiencia en los animales bajo esta dieta (Hickman 1978).

Según Schubert, en estudios con animales, la fracción del alimento irradiado o no, incorporado a la dieta normal de un animal experimental, no debe ser excesivo o alterar el metabolismo normal del animal (Schubert 1978).

También deben simularse las condiciones de almacenamiento pre y post-irradiación.

Aunque ciertos alimentos no requieran de empaque para que el proceso de irradiación sea eficiente, la mayoría de los procesos de alimentos dependen de que el alimento tratado sea empacado en envase sellado para prevenir la reinfección después del tratamiento. Se dispone e un amplio rango de materiales de empaque. Tratando del material de empaque surgen dos cuestiones:

- 1) Si se producen sustancias tóxicas cuando el empaque es irradiado,  
y
- 2) Si se forman los compuestos tóxicos y lo hacen en la cantidad suficiente para que causen daño al ser consumidos.

Un camino es investigar las propiedades toxicológicas del empaque irradiado per se: por medio de estudios de extracción o estudios en dietas de animales o ambos. Otra alternativa es probar la seguridad del alimento ya irradiado dentro de su empaque (Schubert 1978).

El medio en que una sustancia genotóxica está presente, consiste en una mezcla de sustancias químicas que pueden modificar la sustancia biológica. La sustancia potencialmente genotóxica puede ser solamente un componente individual de una combinación de esas sustancia. Estamos expuestos

simultáneamente a multitud de potencialmente dañinos agentes químicos, físicos y biológicos. El establecimiento de niveles permisibles o aceptables de admisión basados en pruebas genotóxicas de una sola sustancia aislada puede ser un error serio (OMS 1981).

Un alimento particular puede afectar la expresión o supresión de un agente mutagénico, si es un aditivo alimenticio, contaminante externo o un tóxico de ocurrencia natural. Existen muchos tóxicos de ocurrencia natural en los alimentos como: alcaloides de pirrolizidina, cicasina, micotoxinas y aflatoxinas (OMS 1981).

Se ha observado mutagénesis en sistemas microbianos, lo que significa que los resultados negativos en pruebas Ames pueden ser más aparentes que reales.

Se ha observado potenciación en la mutagénesis del nitrito de sodio con etilurea. Una pequeña pero significativa potenciación también ocurre al tratar ratones con dimetilamina en presencia de nitrito de sodio. Las ratas y ratones alimentados con dietas conteniendo nitrito de sodio y aminos secundarias desarrollan tumores característicos de nitrosamina (Ichikawa 1975).

Aún cuando se producen compuestos por irradiación en los alimentos, su actividad puede no expresarse o viceversa, puede incrementarse o potenciarse. Después de estudios se encontró que en muchos casos la respuesta de un mutágeno conocido en preparaciones de alimento irradiado depende por ejemplo de si el alimento ha sido calentado o no, o de la cepa bacteriana empleada (Joint 1983).

Muchos alimentos irradiados evaluados por la Junta del Comité Experto de FAO/IAEA/WHO fueron probados en cuanto a efectos en reproducción y mutagénesis no observándose efectos en reproducción y mutagénesis, así como efectos significativos en almidón de maíz, pescado, hongos, papaya, papas, arroz, fresas y trigo (OMS 1981).

Las soluciones de sacarosa irradiadas son citotóxicas y mutagénicas en división celular, in vitro, si se irradian las soluciones congeladas no son mutagénicas, ninguna de las soluciones de sacarosa y ribosa irradiadas con 2 Mrad mostraron respuesta mutagénica, en ensayos de huésped intermediario con ratones como huésped mamífero (Codex Alimentarius C. 1979).

Las investigaciones realizadas en el Huntingdon Research Center para el International Project in the Field of Food Irradiation, se hicieron con ratas alimentadas con papas cocinadas sin cáscara y fueron seguidas durante varios ciclos reproductivos. Al final se analizaron los cromosomas, se hicieron estudios teratológicos y sobre malformaciones congénitas. Las papas se hicieron pasta después de pelarse y cocinarse con vapor y machacarse a delgadas hojuelas y posterior secado a 37.8°C durante 72 horas. Las escamas tienen un contenido de agua del 35%. Por añadidura se estudiaron los residuos de pesticidas. Los controles incluían la dieta comercial estándar y las papas no irradiadas preparadas de igual manera que las irradiadas a 12 krad. No se encontró ningún efecto adverso (Stoewsand 1981).

Van Kooij y Van Logten, realizaron una investigación con cerdos por 3 generaciones.

Los animales se dividieron en tres grupos: (1) Grupo control: alimentado con una mezcla de alimento no tratado. (2) Grupo alimentado con 100% de alimento calentado a 120°C durante 10 minutos. (3) Grupo alimentado con alimento irradiado a 5 Mrad (Van Kooij et al. 1978).

En ganancia de peso no hubo diferencia durante el período en que el alimento consistió solamente de leche materna en las tres generaciones. Las diferencias empezaron 2 semanas después con el alimento sólido. En los días 34 a 49 el grupo (2) ganó sólo 337 g comparado a 427 y 462 g para el control y el alimento irradiado. En total el promedio de peso de los animales que se alimentaron con alimento no tratado fue de 15.2 kg, los de alimento irradiado 15.3 kg y el grupo de comida tratada por calor fue de sólo 13.7 kg (Van Kooij et al. 1978).

En 1965, los científicos de Surgeon General concluyeron que:

"Los alimentos irradiados a dosis absorbidas mayores a 5.6 Mrad con fuente de Co-60 de radiación gamma o de electrones con energías mayores a 10 millones de eV se han encontrado comestibles, seguros y adecuados nutricionalmente" (Fraser 1980).

The Interdepartamental Committee on Radiation Preservation of Food ha constituido 4 paneles de científicos estudiando y revisando las perspectivas de la irradiación de alimentos en los Estados Unidos. Estos paneles estudian separadamente frutas y vegetales, pescado y productos marinos, aves y productos avícolas y por último carnes y productos derivados y han tenido muchas reuniones. En los reportes preliminares concluyen que la irradiación a bajas dosis puede reducir el uso de productos químicos como pesticidas en frutas y vegetales y nitritos en carnes. Reduce significativamente *Salmonella* y otros patógenos en aves y productos frescos (FAO/IAEA/WHO 1980).

En los Laboratorios Wantage de la Gran Bretaña, se realizó un experimento con dietas esterilizadas por irradiación en animales de laboratorio. Cien parejas de crías de ratas fueron alimentadas con dieta irradiada y cien parejas con dieta no irradiada. Los análisis estadísticos muestran que la dieta irradiada es tan satisfactoria para sustentar la colonia como la no irradiada. Se analizó el crecimiento de las ratas en ambos tratamientos y no se encontraron diferencias.

Muchos cientos de toneladas de dietas para animales se irradian ahora con 2.5 Mrad de radiación gamma. Las dietas de conejos, cerdos y pollos esterilizadas de esta manera, se han administrado a los animales y se ha observado cuidadosamente a éstos sin encontrar efectos adversos atribuibles a la misma (Loaharanu 1978).

Según un artículo publicado por A. N. Zaytsev en 1975, en la Unión Soviética, se han realizado estudios de comestibilidad de varios alimentos, entre los cuales pueden citarse los siguientes:

- Papas: Se utilizaron varias generaciones de perros y ratas, administrándoles papas irradiadas entre 10-15 krad. En los estudios realizados posteriormente a dichos animales no se les detectó cambio en la composición química o en el valor biológico del alimento, ni se observó ningún efecto tóxico atribuible al consumo de las papas (Okuneva 1966, Zaytsev 1975).
- Granos: Los animales experimentales fueron ratones, ratas, palomas y perros. El grano fue irradiado a dosis entre 10 - 30 krad, no se encontró

ningún efecto adverso en el crecimiento o procesos reproductivos de la progenie o la composición morfológica de la sangre y la morfología de los órganos individuales.

- Frutas secas: Los análisis toxicológicos de pasas y duraznos irradiados a dosis de 30 krad, administrados a Rhesus monkeys (genus *Macaca*), no revelaron cambios significativos en su estado de salud (Schillinger et al. 1966).

- Carnes y aves: Las muestras elegidas para este estudio fueron carne fresca, pollo y puerco. El bistec fue irradiado a 600 krad, el puerco a 800 krad y el pollo a 600 krad. Se suministraron en aproximadamente el 50% de la proteína de la dieta y 16% del contenido calórico normal. Los animales experimentales fueron perros y el estudio fue de 18 meses de duración. Los parámetros a medir fueron el intercambio de proteína, lípidos y vitaminas; la morfología sanguínea y estudios histológicos de algunos órganos, incluyendo gónadas. Estas investigaciones no revelan ningún efecto tóxico de los productos animales irradiados en los organismos de los animales experimentales, ni efectos desfavorables en el crecimiento y desarrollo de los animales, procesos metabólicos y función reproductora de la progenie. Los animales experimentales no mostraron ningún cambio morfológico en sus tejidos o mayor evidencia de tumores comparados con los animales de la dieta control. A partir de estos experimentos puede verse claramente que la aplicación de dosis de radiopreservación a derivados de la carne no da lugar a ninguna sustancia de efecto tóxico (Zaytsev 1975).

- Pescados: Estudios de dietas de pescado fresco irradiado a dosis de radiopreservación de 600 krad y pescado parcialmente cocinado irradiado con dosis de radioesterilización de 1.5 Mrad se llevaron a cabo con ratas como sujetos experimentales. En la primera y segunda generación de ratas alimentadas con pescado radurizado se notó un disturbio en la función reproductora de la progenie, éste efecto gonadotóxico se reflejó en una reducción de la actividad espermatozoide de los machos experimentales y una reducción en el peso de las gónadas, comparados con los animales

control. En la primera generación de hembras experimentales se notó una tendencia a la reducción en el rango de sobrevivencia entre la progenie comparado con los animales control. El conjunto de análisis patológicos también indica un incremento de las enfermedades corrientes en los animales experimentales comparados con el control (Schillinger y Osepova 1970). Una posible explicación para los efectos observados en las ratas alimentadas con pescado irradiado puede ser que el pescado crudo fue irradiado congelado en vez de fresco. De cualquier modo es concebible, aunque también cuestionable, que la irradiación puede haber inducido la formación de ciertos productos de radiólisis aún no identificados, los cuales fueron responsables de éstos efectos.

El pescado parcialmente cocinado irradiado a 1.5 Mrad probó ser menos satisfactorio que el producto similar (bacalao en salsa de tomate), esterilizado por tratamiento con calor, con respecto a la eficiencia proteica y el rango de crecimiento relativo de ratas alimentadas con las dietas de prueba.

- Mezcla de dietas irradiadas: Como existe la posibilidad de que varios productos irradiados puedan ser consumidos al mismo tiempo, deben considerarse también las pruebas de comestibilidad a dietas conteniendo más de un producto irradiado.

Los estudios se llevaron a cabo con una dieta consistente principalmente de productos vegetales expuesto a radiación gamma, la composición de los productos irradiados era del 82% en cuanto a contenido calórico (Bromikova 1969). La dieta incluía frutas secas irradiadas con 300 krad, trigo, chícharos y maíz; cada uno de ellos irradiados con 100 krad, papas, cebollas y concentrados alimenticios se irradiaron con 10 y 12 krad, respectivamente.

Los estudios de la función reproductora en 4 generaciones de ratas y los exámenes del metabolismo de lípidos y carbohidratos, morfología sanguínea y propiedades mutagénicas de esta dieta, no demostraron efectos dañinos en los animales experimentales (Zaytsev 1975).

También se han realizado pruebas de toxicidad y mutagénesis en formas menos evolucionadas de vida. Cualquier juicio de seguridad acerca de un alimento irradiado para el consumo humano, se basa en estudios en animales que involucran algún grado de extrapolación. El grado de confianza que dan estas pruebas sólo pueden mejorarse en pruebas que utilicen al hombre mismo como sujeto experimental (Basson et al. 1978).

Se han observado efectos citotóxicos y mutaciones en células e insectos que han crecido en medios conteniendo componentes irradiados. Puede criticarse la extrapolación al hombre, de resultados obtenidos en mamíferos, por lo tanto, la validez de los hallazgos en formas menos evolucionadas de vida debe estar bajo sospecha (De et al. 1978).

Hostein, Sugii y Steward, reportaron que los productos radiolíticos de los azúcares son dañinos a las células vegetales y capaces de inducir anomalías cromosómicas en *Vicia faba* y en *Tradescantia paludosa*.

Molin y Ehrenberg, encontraron evidencia de citotoxicidad en dextrosa irradiada en bacterias (Chaubey et al. 1978).

En Gran Bretaña, Berry, Hills y Trillwood, usando células de mamíferos en cultivo de tejidos, demostraron la presencia de un agente citotóxico en dextrosa y fructuosa esterilizadas por irradiación. La dextrosa y fructuosa esterilizadas en autoclave son también citotóxicas, pero el efecto es menos pronunciado en almacenamiento y las irradiadas mantienen su efecto citotóxico por más de seis meses (Chaubey et al. 1978).

En 1975, Henderson, Baxter y Tuttle, observaron pequeñas diferencias entre el medio de crecimiento irradiado y no irradiado, al estudiar cinco generaciones de *Drosophila* (mosca de la fruta), atribuyeron las diferencias observadas a un efecto nutricional más que a una manifestación tóxica y concluyeron que el efecto era cuestionable significado biológico (Vakil et al. 1978).

Swaminathan, Nirula, Natarajam y Sharm en India; Rinehart y Ratty en Estados Unidos, reportaron un incremento en las mutaciones en crecimiento de *Drosophila* en medios irradiados, lo que es contrario a los resultados de otro

trabajo de la India: Reddi, Reddy, Ebenezaer y Rao, que no pudieron demostrar efectos genéticos bajo circunstancias similares.

En el Instituto de Genética Animal Edinburh, Chopra fue incapaz de demostrar efectos mutagénicos en *Drosophila* que creció en medios irradiados o cuando se adicionó DNA irradiado al medio de crecimiento.

Khan y Anderson del Departamento de Genética de la Universidad de Cambridge no pudieron demostrar que el DNA irradiado produce incrementos significativos en mutaciones sobre el DNA no irradiado (Brynjolfsson 1981).

Si se acepta que los resultados de estas pruebas pueden extrapolarse al hombre, hay graves implicaciones en la seguridad del alimento irradiado. Puede argumentarse que la estructura y composición de los cromosomas y células humanas son básicamente similares a aquellas de formas menos evolucionadas de vida o a células aisladas en cultivo de tejidos. Por otro lado, en el animal intacto o en el hombre, cualquier sustancia tóxica o mutagénica del alimento irradiado, debe absorberse por el tracto gastrointestinal y metabolizarse. Si se absorbiera una sustancia tóxica, ésta debe ser bien destoxificada o rápidamente excretada del cuerpo antes de que sea absorbida en la suficiente concentración para causar un efecto tóxico (Schubert 1978).

Hay reportes que indican la presencia de efectos mutagénicos en algunos productos irradiados como harina (Bugyjak et al. 1968), jugos de frutas (Swaminathan 1963) y papas (Chopra 1963), que se han detectado en especies biológicas como *Drosophila*, bacterias, cultivo de tejidos y ratones, lo que ha hecho que organismos internacionales como FAO, IAEA y WHO (1979), recomendaran estas pruebas mutagénicas, además de los análisis toxicológicos prescritos para que se incluyan en los protocolos de los estudios de comestibilidad. Los experimentos llevados a cabo con bacterias, plantas inferiores e insectos y cultivos de tejidos en contacto directo con el sustrato, no pueden ser el factor decisivo sobre la inocuidad de los alimentos irradiados como fue expresado por el panel FAO/IAEA/WHO en 1964 diciendo que la detección de cambios genéticos en *Drosophila* inducidos por alimentos irradiados, no puede indicar que efectos similares se encontrarían en humanos consumidores de alimento irradiado. Los



mutágenos introducidos oralmente no necesariamente alcanzarían las células reproductoras de los mamíferos (Schubert 1978).

Gran número de sustancias comúnmente halladas en los alimentos, han demostrado poseer actividad mutagénica cuando se han probado en formas de vida menos evolucionadas (animales y plantas, aún el ácido acético, de importante papel como intermediario en el metabolismo, ha demostrado poseer débil actividad mutagénica bajo ciertas condiciones (Haschek 1978).

En contraste al efecto reportado de materiales irradiados en plantas, bacterias y otras formas de vida, existe gran información de estudios de alimentación en animales que indican que los alimentos irradiados no son tóxicos.

En la Gran Bretaña, varios miles de ratas y ratones han sido alimentados con comida irradiada toda su vida sin efecto adverso. Con trigo irradiado, cuatro generaciones sucesivas de ratas fueron estudiadas sin evidencia de toxicidad (Hickman 1978).

En estas circunstancias, es difícil aceptar que los efectos observados usando simples sistemas de prueba, sean de importancia biológica para el hombre.

El ejército de Estados Unidos ha emprendido la ejecución de un amplio programa encaminado a dilucidar una serie de cuestiones suscitadas por el empleo de las radiaciones ionizantes para la conservación de los alimentos.

Concluidos los prolongados estudios sobre el consumo de estos alimentos por animales, se ha demostrado que los alimentos irradiados son tan comestibles y tan aceptables en general, como los tratados por procedimientos clásicos. Los datos se han obtenido con la colaboración de más de 30 laboratorios de instituciones docentes, empresas comerciales y organismos oficiales, y comprenden los resultados de estudios sobre el consumo de 21 productos alimenticios irradiados (carne, pescado, frutas y verduras), por más de 15,000 ratones, 5,000 ratas de la misma progenie, 300 perros y 37 monos. En general, los alimentos utilizados para este estudio, recibieron dosis de 2.79 a 5.58 Mrad obtenidas por medio de combustible nuclear agotado, Co-60 o fuentes de electrones de 10 MeV; más altas que las comúnmente empleadas en radurización y radicación. Antes de darlos a los animales se almacenaron durante tres meses

a la temperatura ambiente. Los alimentos no irradiados utilizados como testigo, se mantuvieron congelados hasta el momento de su consumo durante dos años se administraron dietas con el 35% (en peso seco) de alimentos irradiados a dos especies diferentes. Se estudió el crecimiento, la reproducción, la lactación, la hematología, la longevidad, la histopatología y la carcinogénesis. Para examinar más a fondo este último punto durante dos años se administraron dietas a ratones con el 100% de alimentos irradiados. También se estudió la radiactividad inducida, la estabilidad y suficiencia de las sustancias nutritivas, etc. (Schubert 1978).

Los puntos a considerar al evaluar los resultados reportados de carcinogénesis son los siguientes:

- El tiempo o lapso de observación
- Dosis empleada
- Número de animales por grupo

Es fácil obtener resultados negativos cuando se usan en la investigación pocos animales o el tiempo de observación es demasiado corto, o sea, protocolos inadecuados.

Esto enfatiza la necesidad de un consumo estadístico antes de comenzar un experimento.

El número de animales necesitados para producir confiabilidad estadística en pruebas de carcinogénesis es mayor de lo que muchos investigadores utilizan (Schubert 1978).

En la Junta del Comité Experto de FAO/IAEA/WHO sobre la Comestibilidad de los Alimentos Irradiados realizada en 1980, basados en los estudios realizados durante más de dos décadas, se llegó a la conclusión de que los alimentos irradiados hasta dosis no mayores de 1 Mrad son absolutamente seguros para el consumo humano (Schubert 1978).

---

---

CAPÍTULO IX

**ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DEL TRATAMIENTO  
DE IRRADIACIÓN**

---

---

## 9. Análisis Costo-Beneficio del Tratamiento de Irradiación

El uso de la radiación ionizante, al igual que otros procesos industriales en el procesamiento de alimentos, es solamente una de las etapas en la cadena de producción, manipulación, procesamiento y distribución; cada una de las cuales requiere de controles de calidad específicos, para lo cual es necesario tener presente que las buenas prácticas de sanidad y manufactura o elaboración (BPM) de los productos alimenticios, deben aplicarse siempre, antes y después de la exposición a la irradiación (WHO/EHE/FOS).

### 9.1 Costos de Irradiación

En la tabla No. 13 se presentan los costos estimados para procesar carne de pollo y carne de puerco por radiación, de acuerdo a diferentes volúmenes y dosis establecidas para inhibir el desarrollo de *Salmonella* y de *Triquina* respectivamente.

Estos costos se basaron en las capacidades de algunas plantas de producción de productos cárnicos en E. U. A. y fueron estimados tomando en cuenta algunas consideraciones técnicas como costos del componente de un irradiador (fuente o máquina; sistemas auxiliares y blindaje; maquinaria y transportadores y otros costos de capital y costos de operación).

Haciendo un análisis de cada consideración se tiene:

#### Fuente de irradiación

-Se debe tomar en cuenta la actividad de la fuente en Curies o Bequerels, cantidad del producto que se tratará por unidad de tiempo kg o Lb/Hora, Hora/Año, etc.

- Dosis requerida para llevar a cabo el efecto deseado.

- Utilización neta de la eficiencia (porcentaje de energía emitida por la fuente que es absorbida en el producto).

- Con lo que respecta al blindaje y sistemas auxiliares es importante considerar:

- El grosor de la pared de la cámara de irradiación (1.6 m de espesor de concreto).
- La piscina que alberga la fuente (6 m de profundidad).
- La distribución del laberinto en el cual se desplazan los acarreadores hasta llegar a la cámara de irradiación.
- En la maquinaria y transportadores se debe considerar el elevador del bastidor que contiene la fuente y los contenedores que transportan el producto hasta la fuente.

- En otros gastos de capital y costos operacionales se incluye terreno, mano de obra, diseño y costos de ingeniería, salarios y horario laboral, mantenimiento y conservación; suministros, utilidades, seguro, impuestos, recarga del radioisótopo o reposición de maquinaria.

Los costos unitarios del producto irradiado difieren de país a país (Morrison 1985).

En un estudio de prefactibilidad de pollo, que se estimó para Brasil, el costo para irradiar este producto a una dosis media de 10 kGy es del orden del 1% del valor del producto, que es aproximadamente 5.00 dólares americanos/tonelada.

### 9.1.1 Costo-Beneficio del Proceso de Irradiación

Estimando los beneficios médicos o de productividad, asociados con la prevención de enfermedades humanas transmitidas por carne de puerco, res y pollo, y el papel de la irradiación, se hicieron estimaciones al respecto, llegando a la conclusión que con dosis de 0.3 kGy es suficiente para inactivar *Trichinella spiralis* y 0.5 kGy el *Toxoplasma gondii*; la *Salmonella* y el *Toxoplasma* se reducen a 2.5 kGy.

El tratamiento de irradiación en pollo a 2.5 kGy podría tener beneficios en la salud pública de 341 a 653 millones de dólares americanos y en carne de puerco a dosis de 0.3 kGy el costo-beneficio está entre 186 a 280 millones; en la tabla No. 14 se hace una comparación de los beneficios anuales al utilizar la irradiación.

Los costos del proceso se estimaron en base a la cantidad procesada de producto por costo unitario.

Estas estimaciones indican que los costos de Salud Pública son alrededor de un billón de dólares americanos en E. U. A. para enfermedades como salmonelosis, toxoplasmosis, campylobacteriosis, triquinosis y taeniasis, pueden reducirse en un 90% gracias al proceso de irradiación.

Este beneficio potencial está basado en la aceptación pública y compras de alimentos irradiados (Roberts 1985, Curtin 1989).

## 9.2 Energía Utilizada en los Procesos de Conservación

En un estudio comparativo de energía utilizada en diferentes procesos de conservación de pollo, Brynjolfson (1978) presenta la cantidad de energía gastada en kilojoules/kilogramo, además hace un análisis de la eficacia comparativa entre proceso de refrigeración, congelación, uso de tratamiento térmico y radiación ionizante (radapertización y radurización).

El resumen de esta comparación de energía se puede observar en la tabla No.15.

Con lo que respecta a la eficacia de conservación entre estos tratamientos, la vida útil de anaquel del pollo refrigerado fue inferior a la que se observó con radiación; el pollo irradiado a 2.5 kGy eliminó *Salmonella* y logró extender la vida de anaquel de 14 a 21 días, mientras que la de pollo congelado fue de 7 días.

Analizando el gasto de energía empleada para la radiación, ésta tiene un valor de 21 kGy; durante la exposición a esta energía, se utiliza refrigeración a -5°C con un gasto de 40 kJ/kg.

La congelación tiene un gasto de 7,560 kJ/kg, como se podrá observar, la radiación consumió menos energía que la refrigeración y congelación.

Utilizando el proceso térmico, la energía se reduce casi menos del 50% con respecto al proceso de congelación, sin embargo al utilizar este método hay una significativa pérdida de la calidad del producto (organolépticamente).

Un proceso alternativo es la radapertización, el pollo recibe un tratamiento especial antes de irradiarse, primero se hace un blanqueado a temperatura de 70°C, posteriormente los rollos de pollo son empacados y sellados al vacío, en empaques laminados de plástico y aluminio y congelados a -4°C, a esta temperatura se irradian, aún cuando este proceso no es comercial, el gasto de energía utilizado es inferior a la congelación y al proceso térmico de enlatado, esta alternativa se ofrece a países en los cuales, los sistemas de refrigeración no están desarrollados, el producto radapertizado se almacena a temperatura ambiente y la vida de anaquel de los productos es de años. Una de las aplicaciones de la radapertización de carne fue llevada a cabo en el programa de vuelos espaciales Apolo y Soyus; este producto fue consumido por los astronautas.

### 9.3 Comparación Costo-Beneficio de Algunos Métodos de Higiene de Cármicos

En un estudio realizado por Morrison (1985) sobre la comparación de efectividad costo-beneficio de diferentes métodos de conservación que reducen la contaminación que implican enfermedades transmitidas por los alimentos, presenta a la irradiación como un proceso muy efectivo, el costo de la inversión inicial no es muy económico, pero el beneficio es superior a la inversión. Además este costo es amortizable y con el tiempo resulta muy competitivo con otros métodos que inicialmente presentan ser económicos. En la tabla No. 16 se muestran los diferentes métodos de conservación, costo, efectividad y beneficio.

Desde el punto de vista de salud pública, la irradiación es quizá el único proceso que elimina con efectividad bacterias patógenas y parásitos que causan enfermedades y que se transmiten por los alimentos.

### 9.4 Análisis de Costos de la Irradiación de Alimentos Deshidratados

El tratamiento de alimentos deshidratados por irradiación Gamma del cobalto 60, tiene como objetivos mejorar su calidad higiénica, aumentar el área de

distribución en el mercado nacional e internacional y extender su duración en almacenamiento de manera que puedan utilizarse como insumos de otros alimentos preparados. Estos beneficios son los que se han de evaluar al considerar el costo del proceso por sí mismo o en comparación con otros.

#### 9.4.1 Comercialización del Proceso de Irradiación

Actualmente unas 20 industrias de productos alimenticios, hacen uso del proceso de irradiación para propósitos como desinfección, reducción de cuenta microbiana y eliminación de microorganismos patógenos y se aplica entre otros a los siguientes productos:

- 1) Ajo en polvo.
- 2) Azúcar glass,
- 3) Brocoli deshidratado,
- 4) Canela molida,
- 5) Cebolla en polvo
- 6) Champiñón deshidratado,
- 7) Chilaquiles deshidratados,
- 8) Chiles de árbol, guajillo, ancho, rojo, etc.
- 9) Cilantro deshidratado,
- 10) Cocoa,
- 11) Achiote,
- 12) Paprika
- 13) Perejil, pimienta blanca y roja,
- 14) Saborizante de carne,
- 15) Salvado de trigo, almidón de maíz,
- 16) Salsa deshidratada y caldo de camarón concentrado
- 17) Fécula de maíz, de papa y harina de soya,
- 18) Espinacas, manzanilla y yerbabuena deshidratadas,
- 19) Nopal deshidratado,
- 20) Coco en polvo, y



## 21) Azúcar refinada.

En esta relación se encuentran productos terminados, componentes, colorantes, saborizantes y complementos alimenticios.

### 9.4.2 Parámetros de Costo

Los costos del servicio de irradiación Gamma para el procesamiento de alimentos elaborados, así como otros grupos de productos, se determinan considerando elementos componentes de la inversión total de una instalación como la siguiente:

- 1.- Fuente de cobalto 60 (inversión inicial),
- 2.- Edificios,
- 3.- Equipo de irradiador,
- 4.- Recargas de cobalto 60,
- 5.- Impuestos, seguros, etc.,
- 6.- Costos de operación,
- 7.- Costos de mantenimiento,
- 8.- Reparaciones y repuestos,
- 9.- Energía eléctrica,
- 10.- Control de calidad, y
- 11.- Costos de maniobras de proceso.

Estos y otros costos previsibles se integran para obtener el costo total por año. De esta manera si se tienen una capacidad del irradiador en kg/hora y el número de horas de operación por año, se puede determinar el costo por hora, a partir de los dos siguientes parámetros:

- Horas efectivas de operación diaria
- Horas efectivas de irradiación anual

para la siguiente expresión:

$$C_i h = C_t a = \text{costo/hora de irradiación}$$

Este costo por hora de irradiación se divide entre el número de unidades de producción.

Otros parámetros de importancia en los costos de irradiación, son los relacionados con la actividad necesaria para la fuente, y el factor de utilización del irradiador que se determinan con las siguientes expresiones:

$$A = (18,74 \times W \times I_m) / (E_i \times F_v)$$

donde:

18.74 = Constante de la energía del cobalto 60

W = Flujo másico en kg/hora

I<sub>m</sub> = Dosis promedio requerida

E<sub>i</sub> = Eficiencia de la radiación Gamma del cobalto 60

F<sub>v</sub> = % de ocupación del contenedor de irradiación

#### 9.4.3 Parámetros del Proceso

El análisis de costos de proceso de los servicios de irradiación Gamma para el tratamiento de productos alimenticios, como los deshidratados, concentrados y en polvo, requiere de considerar las características de la instalación; para este caso el irradiador que opera en el ININ, es un equipo industrial tipo JS-6500 auto contenedor, es decir es una unidad rodeada por un blindaje biológico, con un piscina utilizada en el almacenamiento operativo de su fuente de cobalto 60.

De acuerdo a su utilización y a sus especificaciones de operación, para su proceso determinado, como es el tratamiento de alimentos deshidratados, se consideran los siguientes antecedentes técnicos para la determinación de costos:

1. Producto(s) a irradiar:	Productos alimenticios deshidratados
2. Propósito(s):	Desinfestación y eliminación de parásitos
3. Dosis promedio requerida:	10 kGy
4. Flujo volumétrico teórico:	7.5 m <sup>3</sup> /h
5. Flujo másico de diseño:	155 kg/h
6. Densidad global del producto:	0.55 + 0.25 a/cc
7. Eficiencia de la irradiación:	30%

8. % de ocupación del contenedor:	90%
9. Meses de operación anual:	12
10. Días de operación mensual:	28
11. Turnos diarios:	3
12. Horas efectivas de operación por día:	22

De acuerdo a estos parámetros de utilización del irradiador, se determinan los siguientes antecedentes:

- 1.- Costos de operación
- 2.- Salarios
- 3.- Recargas de cobalto 60
- 4.- Depreciaciones
- 5.- Gastos generales
- 6.- Sueldos

La unidad de producción considerada para evaluar los costos de operación es el Megarad/contenedor, que es equivalente a un volumen de  $0.2211 \text{ m}^3$ , irradiado a una dosis de 10 kGy para una densidad de hasta  $0.3 \text{ g/cm}^3$ .

El costo anual del servicio de irradiación en el ININ incluye un 20% de ayuda a la investigación.

Se puede analizar que uno de los componentes principales del costo del proceso de irradiación, que es el cobalto 60 y su relación con la capacidad del irradiador, por ejemplo, si queremos irradiar 1 a 10 contenedores nos saldrá en un X precio, si es de 30 a 50 contenedores se reduce un 20% el costo original y para 50 a 100 contenedores disminuiría un 24%.

Las características del irradiador JS-6500, limitan su eficiencia de utilización para el procesamiento de productos deshidratados y modifica el sistema de control dosimétrico, ya que depende del contenedor para la irradiación; los cuales por su geometría sólo pueden ocupar una parte de su volumen, dependiendo del tipo de envase y/o empaque del producto.

El costo puede reducirse considerablemente al modificar el sistema de irradiación e incrementar la capacidad de producción al automatizar la operación y maniobras en la instalación.

Podemos concluir que el costo del proceso de irradiación requiere de evaluar las ventajas que tiene sobre otros procesos, principalmente cuando se trata de una instalación para servicio de una empresa particular. En este caso se pueden reducir los costos de mano de obra por manipulación e inclusive materiales de empaque al manejar los productos en sus envases y empaque finales para su distribución y ventas. Otro aspecto que es conveniente evaluar es el posibilitar la optimización de instalaciones, equipos y dispositivos para incrementar la capacidad de una instalación, para abatir los costos al procesar volúmenes mayores.

---

---

CAPÍTULO X

LEGISLACIÓN Y REGLAMENTACIÓN PARA ALIMENTOS  
IRRADIADOS

---

---

## 10. Legislación Nacional

Los primeros intentos de legalizar el proceso de irradiación de alimentos a nivel nacional y reportados a la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), se llevaron a cabo en los Estados Unidos de Norteamérica, en el año de 1958. En esta forma, una enmienda sobre aditivos para alimentos en la "Federal Food, Drug and Cosmetic Act" prohibió el uso de radiaciones para el tratamiento de alimentos. Esta política sobre el proceso se adoptó también en Alemania, por lo que una regulación para la irradiación de alimentos fue promulgada en 1959.

En los años sesenta y setenta, otros países adoptaron regulaciones especiales o enmendaron las leyes existentes en sus legislaciones nacionales a través de la emisión de decretos específicos, para posibilitar la aplicación del proceso de irradiación en alimentos.

De acuerdo con la información existente en la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), 21 de sus estados miembros han promulgado, en una u otra forma, regulaciones referentes a productos alimenticios irradiados de alimentos. La lista de países incluye: Alemania, Argentina, Australia, Austria, Bélgica, Brasil, Canadá, Dinamarca, España, Estados Unidos, Francia, Israel, Italia, Japón, Luxemburgo, Reino Unido, Sudáfrica, Suecia, Suiza y Tailandia.

### Reglamentación Mexicana sobre los Alimentos Irradiados

La Secretaría de Salud en México es el organismo oficial responsable del control sanitario de los alimentos y materias primas para la elaboración de los mismos y que se destinen al consumo humano; lo anterior tiene su base en la ley general de salud en su artículo 94 y en el reglamento de la ley general de salud en materia de control sanitario de actividades, establecimientos, productos y servicios en sus artículos 149, 152, 154, 159, 161, 162, 163 y 164.

La dirección de control sanitario, se apoya en los servicios coordinados de salud de cada estado, los cuales se encuentran descentralizados y dependen de los gobiernos de los que representan.

Estos servicios coordinados tienen representantes en cada ciudad, los que forman la parte operativa y funcional del sistema de Regulación Sanitaria Mexicana.

La Dirección General de Calidad Sanitaria de Bienes y Servicios, se coordina con otras instituciones gubernamentales como SECOFI, SAHR, SEPESCA y SEDUE, entre otras.

Uno de los objetivos centrales de estos acuerdos de coordinación consisten en vincular la normalización y el control de las dependencias y favorecer la interrelación y apoyo recíproco entre sus infraestructuras.

- a) Con SECOFI, se elaboran normas oficiales mexicanas de alimentos, bebidas alcohólicas, productos de tocador y de belleza.
- b) Con SAHR, se trabaja con establos y rastros, agroquímicas, agua de uso.
- c) Con SEDUE, se trabaja con sustancias tóxicas, contaminantes químicos, biológicos y radioisótopos.

El sistema de regulación sanitaria se basa en el otorgamiento de autorizaciones sanitarias.

Estas autorizaciones deben solicitarse en las normas oficiales que para tal efecto proporciona la Dirección General de Calidad Sanitaria de Bienes y Servicios, así como también documentos e información necesaria para resolver dicha petición.

Sólo procederá el otorgamiento de una autorización sanitaria cuando el solicitante hubiese satisfecho todos los requisitos.

La autoridad sanitaria dispondrá de una plazo de 60 días contados a partir de la recepción de la solicitud para resolver y notificar al interesado el resultado de su solicitud de autorización sanitaria, tratándose de registros el plazo será de 90 días.

## 10.1 Licencia Sanitaria

Requieren licencia sanitaria los establecimientos:

- a) Destinados al proceso de productos alimenticios, medicamentos, sustancias tóxicas, fuentes de radiación, etc.
- b) Destinados al proceso, almacenamiento, distribución o destino final de plaguicidas y fertilizantes.
- c) Destinados al almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo (L.P.)
- d) Donde se desarrollen actividades ocupacionales, en las que se pongan en riesgo la salud de los trabajadores.

También requieren licencia sanitaria los vehículos que transportan productos perecederos, insumos para la salud, gas licuado, sustancias tóxicas y fuentes de radiación.

Las embarcaciones, aeronaves y vehículos de transportes terrestres de pasajeros.

## 10.2 Registro Sanitario

El registro sanitario es el acto administrativo mediante el cual la Secretaría de Salud autoriza la elaboración, venta, suministro al público, el uso o disposición de los productos o equipos.

Requieren registro sanitario los productos o equipos, sean nacionales o extranjeros que a continuación se señalan:

- |      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| I.   | Alimentos                         |
| II.  | Bebidas alcohólicas               |
| III. | Bebidas no alcohólicas            |
| IV.  | Medicamentos                      |
| V.   | Estupefacientes                   |
| VI.  | Sustancias psicotrópicas,         |
| VII. | Productos de perfumería y belleza |



VIII.	Productos de aseo
IX.	Tabaco
X.	Equipo médico, materiales quirúrgicos, de curación
XI.	Purificadores de agua de tipo doméstico y
XII.	Productos que contengan sustancias tóxicas

Para la obtención del registro sanitario se requiere:

- a) Presentar solicitud en formas oficiales
- b) Copia de la licencia sanitaria vigente, en su caso acta de inspección sin anomalías
- c) Información científica y técnica para demostrar que el producto o equipo reúne las características de seguridad y eficacia.

Como ejemplo se podría tomar: fórmula, diagrama de flujo, análisis fisicoquímicos y microbiológicos, proyectos de etiquetas, así como la presentación de envases.

### 10.3 Tarjetas de Control Sanitario

Requieren de tarjetas de control sanitario, todas las personas que se dediquen a trabajos o actividades en las que haya riesgos de que se propague una enfermedad transmisible.

### 10.4 Postura de la Secretaria de Salud frente a la Irradiación de Alimentos

A la Secretaria de Salud le compete el control sanitario de la irradiación en alimentos, con base en la Ley General de Salud y sus reglamentos por lo que permitirá la irradiación de alimentos: cuando se justifique plenamente la exposición de radiaciones ionizantes específicas, con el fin de reducir la carga microbiana o la de microorganismos patógenos no esporulados, inhibir la brotación, retardar la

maduración, ampliar la conservación de los alimentos o desinfestación de insectos y parásitos, pero en ningún caso se permitirá para ocultar defectos de calidad sanitaria o para disimular alteraciones o contaminaciones en los alimentos.

Los tipos de radiación ionizante que se permiten son los siguientes:

- a) Radiación gamma de fuentes encapsuladas de los radionúclidos, Cobalto 60 y Cesio 137.
- b) Rayos X generados por máquinas, con energía que no exceda de 5 MeV.
- c) Electrones generados por máquinas con energías que no excedan de 10 MeV.

Por lo que se refiere a los establecimientos de irradiaciones iónicas a los alimentos, para que puedan trabajar, ya sea del sector público, social o privado a nivel industrial, deberán contar con la licencia sanitaria de nivel industrial, de funcionamiento y con la autorización correspondiente de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias para su control.

Dichos establecimientos además deberán ser inscritos en el registro nacional y en el internacional, tramitando ante la Comisión conjunta FAO/OIEA. Por lo que se refiere a las instalaciones de irradiación, deberán estas diseñadas de manera que satisfagan todos los requisitos de seguridad radiológica y de eficiencia; pueden ser de dos tipos, una irradiación continua y otra por lotes.

El control de los alimentos irradiados, deberá efectuarse por los métodos aceptados para probar las dosis absorbidas y acompañado de una vigilancia de los parámetros físicos del proceso autorizado.

Deberán conservarse los registros de la intensidad de las radiaciones aplicadas a los productos por más de un año y éstos deberán ser mostrados a los inspectores debidamente autorizados por la Secretaría de Salud y por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.

El establecimiento donde se procesan alimentos irradiados, deberá contar con un responsable y un auxiliar de responsables, con grado profesional y especialidad de física nuclear, con las siguientes responsabilidades:

- 1) Que cada lote de producto se irradie conforme a los límites establecidos.
- 2) Que cada lote se someta a comprobación de dosimetría.

3) Que cada lote sea remitido con la documentación que ampare el lote.

El responsable del establecimiento de irradiación deberá manifestar por escrito y archivar el procedimiento de irradiación en un libro de control. Los resultados de las mediciones, los cálculos de dosis, procedimientos de dosimetría cuantitativa para cada tipo de producto y expedir la constancia de la dosis suministrada para cada lote de producto, señalando la fecha de irradiación y el número del código de identificación del lote.

A fin de proteger la salud del consumidor cada lote de producto deberá ser evaluado en su aspecto de dosis de radiación, nutricional y microbiológico.

Los productos que ingresen al establecimiento, deberán colocarse apartados y debidamente etiquetados, de los productos irradiados que salgan, a fin de evitar una confusión peligrosa, deberá colocarse una etiqueta color rosa que los señale.

En cuanto al material primario deberá ser de una material resistente, que por la irradiación no puedan producirse sustancias que vayan a alterar, adulterar o contaminar los alimentos y resulten perjudiciales a la salud; por lo que los fabricantes de dichos productos deberán demostrar ante la Secretaria de Salud y la Comisión, la inocuidad de los envases para cada tipo de producto.

Respecto a la venta o suministro de productos irradiados, se requiere que las etiquetas tengan dimensiones apropiadas, con la relación a las del producto unitario con caracteres visibles en la que figuren todos los textos reglamentarios, con un texto que los identifique que da al "Tratado por Irradiación", y presentando el logotipo que internacionalmente los identifica, así mismo en su documentación.

En el caso de los contenedores con producto a granel, por ejemplo: papas, en el citado texto deberá figurar también en los documentos correspondientes. En ambos casos, se precisará el establecimiento y la identificación del lote.

Los productos irradiados para exportación deberán cumplir con las disposiciones legales y normas aplicables, así como a los dispuestos por las reglas establecidas por la comisión del Codex Alimentarius en lo relativo al etiquetado, comercio internacional, documentación de embarque, factura de cada lote y deberá

acompañarse de un certificado expedido por la Secretaría de Salud, en el que constarán todos los datos relativos a su identificación.

Los productos irradiados de importación para su venta en el país requieren de la autorización expresa de la Secretaría de Salud, para lo cual es necesario que el interesado presente un certificado expedido por la autoridad sanitaria del país de origen, en el que consten el registro internacional, el tipo de fuente de irradiación utilizado, las dosis y además datos relativos.

---

---

CAPÍTULO XI

ESTADO ACTUAL Y FUTURO DE LA IRRADIACIÓN DE  
ALIMENTOS

---

---

## 11. Estado Actual y Futuro de la Irradiación de Alimentos

La irradiación de alimentos lleva aproximadamente 43 años de investigación. En los años cincuenta se mostró mucho interés por la irradiación de alimentos como una alternativa a las tecnologías tradicionales practicadas en los países desarrollados, y en los países en desarrollo, ofrecía la oportunidad de reducir las pérdidas de alimentos por infestación, descomposición o germinación (Atomic 1980).

De ahí se deriva el estudio exhaustivo de la irradiación de alimentos por varios países, enfocado a la inocuidad de los alimentos irradiados y a la viabilidad del proceso a nivel piloto y comercial.

En principio, las autoridades nacionales de los países avanzados, tuvieron una actitud extremadamente precavida hacia la aprobación del proceso de irradiación de alimentos para la venta y distribución general. Los países en desarrollo no contaban con los recursos disponibles para obtener la evidencia incontrovertible de la seguridad del consumidor respecto a los alimentos irradiados, a pesar de que en ellos sería particularmente útil (Van Kooij 1980).

En 1956 en Canadá, Ken Mac Queen investiga los efectos de la irradiación de los alimentos como vegetales y encuentra que es un potente inhibidor de la germinación.

A principios de los sesenta, la ONU establece el Joint Expert Committee on Food Irradiation, que se ha reunido en 1964, 1969, 1976 y 1980, y cuyas recomendaciones se asentaron en el Codex Alimentarius Commission. Tiene 120 países miembros, y su objetivo es establecer un tratado internacional y estándares de calidad e inocuidad para alimentos irradiados (Fraser 1981).

En 1970 se establece el International Project in the Field of Food Irradiation debido al alto costo de las investigaciones sobre irradiación de alimentos que por esta razón sólo se efectuaban en los Estados Unidos. Durante la década de los sesenta el interés mundial se encontraba enfocado a la aprobación y legislación de alimentos por organizaciones nacionales e internacionales o por autoridades

nacionales en varios países, por lo que se da poca publicidad a la irradiación de alimentos (Fraser 1981).

En 1976, en la Reunión del FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food, se declara el proceso de irradiación de alimentos, un proceso físico comparable a la aplicación de calor o a la congelación para la preservación de alimentos.

Lo anterior provoca una reacción favorable en varios países hacia la irradiación de alimentos.

Como consecuencia, con ayuda del International Project, se desarrolla el Codex Alimentarius Standard para 8 alimentos irradiados y el International Code of Practice for the Operation of Irradiation Facilities for Irradiated Food.

En 1979, la IAEA publica sus Model Regulations con sugerencias concretas para el control de plantas de irradiación de alimentos y para el comercio de alimentos irradiados (Van Kooij 1979).

En la tabla No. 17 se enlistan las instituciones que llevaron a cabo proyectos de investigación de 1975 a 1980, con objeto de determinar la viabilidad del proceso de irradiación y la inocuidad de las muestras de alimentos (Fraser 1979).

En 1980 se convoca otra reunión del FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food, el cual recomendó la aceptabilidad toxicológica de cualquier artículo alimenticio irradiado a dosis totales de hasta 1 Mrad (10 kGy), y establece que no es necesario realizar pruebas toxicológicas a los alimentos así tratados. Se consideró además, que a estas dosis de tratamiento no se crean problemas microbiológicos o nutricionales especiales en los alimentos así tratados (Fraser 1980).

En 1978 la FAO conjuntamente con el IAEA y el Ministerio de Agricultura y Pesca de Holanda establecen el IFFIT (International Facility for Food Irradiation Technology), localizado en una planta piloto en la Ciudad de Wageningen en Holanda, la cual ofrece entrenamiento en el campo de la irradiación de alimentos a científicos de países en desarrollo (Conference 1980).

A partir de 1981, el programa de investigaciones se enfoca hacia la viabilidad tecnológica y económica del proceso de irradiación de alimentos, para su

aplicación a nivel piloto y comercial en países en desarrollo. Se atiende también a factores que influyen en la utilización del proceso, como por ejemplo:

- 1.- Los problemas económicos de las plantas de irradiación cuando sólo se utilizan por periodos cortos o estaciones.
- 2.- Estudios socioeconómicos para la introducción de alimentos irradiados en el mercado y comercio internacional.
- 3.- La estandarización y los procesos legislativos de la irradiación de alimentos a nivel gobiernos nacionales en los diversos países.
- 4.- El entrenamiento apropiado de científicos, técnicos y administradores en los campos tecnológico, de salud pública, legislación y comercialización del proceso de irradiación de alimentos (Gabor 1981).

Otro factor que se considera que favorecerá la futura aplicación a nivel comercial del proceso de irradiación de alimentos, es la nueva política propuesta por la FDA estadounidense en 1980, que considera que todos los alimentos irradiados a dosis de 1 kGy o menores, son inocuos y seguros para el consumo humano. Se cree que tan pronto sea efectiva esta propuesta, la irradiación de alimentos se aplicará a escala industrial en los Estados Unidos, lo que tendrá un gran impacto a nivel mundial (Cornelis 1978).



## CONCLUSIONES

Los problemas de la alteración de los alimentos, de las enfermedades alimentarias originadas por su conservación inadecuada y la producción de los alimentos preparados son realmente preocupantes y graves.

Los principales agentes bacterianos *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Escherichia Coli* 0157:H7, *Listeria Monocitógenes*, *Yersinia Enterocolitica*, virus, mohos y levaduras pueden ser fuentes primarias de infección o secundaria (contaminación cruzada), ésto es contaminación de alimentos para consumo humano por su dieta y contaminación en el procesamiento del alimento, además de permanecer largo tiempo a temperaturas tanto de refrigeración como de congelación presentando un riesgo a la salud y consecuentemente debido a la enfermedad un muy alto costo anual social.

Los agentes etiológicos parasitarios como *Triquinella Spirallis*, *Taenia Solium*, *Taenia Saginata* y *Toxoplasma Gondii* producen enfermedades que son transmitidas por los alimentos, presentando un alto riesgo a la salud, en algunos casos, aún mayor que las bacterias. Por otra parte, casos como el que en E. U. A. se sacrifican 40 millones de posibles raciones de comida contaminada de triquinina, pudiendo haber sido irradiada o el caso similar, son los resultados de un estudio realizado sobre cisticercosis porcina en México, en el año de 1990, en el cual se observó mediante un análisis de datos que el 1.55% de 15 millones de cerdos que se sacrifican oficialmente en los diferentes rastros en México tenían cisticercosis, con lo cual las pérdidas económicas ascendieron a millones de pesos, considerando que se pierde aproximadamente el 70% de la inversión, por decomiso de cerdos infectados; estas estadísticas nos indican que existe un grave problema en cuanto a pérdidas tanto de países desarrollados como en países en vías de desarrollo.

Organismos internacionales como la FAO estiman que un  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{1}{3}$  de lo producido se pierde, entregando cifras globales de pérdidas post-cosecha de un 10% para cereales y legumbres y 20-30% o más para productos del mar y sus

derivados. Sin embargo, sabemos que estas pérdidas suelen ser mayores en países en vías de desarrollo que presentan condiciones climáticas adversas (alta humedad y temperatura).

A principios de la década del 70 se daban cifras del 14-50% de pérdidas en leguminosas y granos para 9 países latinoamericanos (Brasil, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, México, Nicaragua y Uruguay), siendo las cifras de la década del 80 muy similares en algunos de estos países. Por lo anterior, resulta obvio que es más lógico empezar por disminuir las pérdidas de lo ya producido, que producir más y perder más; pensando en mejorar la alimentación de la población, y es aquí donde los métodos de preservación de alimentos entran a jugar un rol vital para la humanidad (Rubio 1991).

Principalmente por estas razones es que el empleo de la irradiación se encuentra entre las alternativas a estudiar y aplicar seriamente para solucionar los graves problemas económicos de los gobiernos, por una parte, extendiendo la vida útil de los alimentos y por ende el periodo de transporte, comercialización y consumo, y por otra parte permitiendo cumplir con las condiciones de higiene que garanticen que los alimentos sean seguros hacia la salud de las personas que los consuman.

La tecnología de la irradiación de alimentos requiere menor energía que otros métodos de preservación de alimentos, elimina eficientemente los microorganismos patógenos, inhibe el crecimiento y altera el requerimiento de nutrientes, además puede reemplazar o minimizar drásticamente el uso de aditivos alimenticios y fumigantes que representen riesgos para la salud del consumidor (Farkas 1981). Por otra parte, el alimento no se vuelve radiactivo, y con bajas dosis de radiación existe menos pérdida de vitaminas que con el enlatado, congelado o secado (Brynjolfsson 1978).

Este método varía en cuanto a la aplicación, así la radapertización, equivale a esterilización por radiación o a "esterilidad comercial", utilizada en la industria de las conservas enlatadas, usa de 30 a 40 kGy. La radicidación, elimina a los microorganismos patógenos usando dosis de 2.5 - 10 kGy. Y la radurización, con

la cual se prolonga el período de almacenamiento útil, utiliza dosis de 0.25 -2.5 kGy.

La irradiación es un tratamiento "en frío", que puede ser aplicado en cualquier material de empaque, además de que los alimentos pueden ser tratados sin cocinar, semi-preparados, semi o totalmente deshidratados o en forma natural.

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

---

Acevedo, A. "Cisticercosis Porcina en México", *Revista Mexicana de Parasitología*. Vol. 3. No. 1. (1990).

Aiyar S. A. "Present Status of the Wholesomeness of Irradiated Food of Basic Interest to Developing Countries". IAEA-SM-250/33. (1981).

Aravindakshan M. et al. "Multigeneration Feeding Studies with and Irradiated Whole Diet". AIEA-SM-221/69. (1978).

Atomic Energy of Canada Limited Industrial Products. "Gamma Irradiation on the Service of Mankind". (1980).

Bandyopadhyay C. et al. "Studies on some Chemical Aspects of Gamma-Irradiated Onions". IAEA-SM-221/81. (1978).

Basson, R. A. et al. "An Assesment of the Toxicity of Irradiated Fruits Using Radiation Chemical Principles". IAEA-SM-221/50. (1978).

Bryan, F.L. "Foodborne Diseases in the United States Associated with Meat and Poultry", *J. of Food Protection* 43(2). (1980). pp. 140-150.

Brynjolfsson A. "The High Dose and Low Dose Food Irradiation Programmes in U. S. A.". IAEA-SM-221/53. (1978).

Brynjolfsson, A. "Chemiclearance of Food Irradiation Process: It's Scientific Basis". IAEA-SM-250/27. (1981).

Canadian International Grains Institute. "Grains and Oilseeds, Handling, Marketing, Processing". Published by Canadian International Grain Institute, Winnipeg, Manitoba. (1977).

Chaubey, R.C. et al. "Mutagenicity Evaluation of Irradiated Indian Mackerel in Swiss Mice: Dominant Lethal Assay and Micronucleus Test". IAEA-SM-221/68. (1978).

Clifford, W. J., and A. Anellis. "Radiation Resistance of Spores of Some *Clostridium perfringens* strains. Appl. Microbiol. 29:861-863. (1975).

Codex Alimentarius Commission. "Report of the 13th Session". Rome 3-14 Dec. (1979).

Conference Reports. "Food Irradiation Nears Commercial Development". International Symposium on Combination Process Food Irradiation IAEA/FAO. IAEA Bulletin. Vol. 23 No. 1. (1980).

Collins, M. D., and D. Jones. "Distribution of Isoprenoid Quinone Structural Types in Bacteria and their Taxonomic Implications". Microbiol. Rev. 45:316-354. (1981).

Counsell, T. J., and R. G. E. Murray. "Polar Lipid Profiles of the Genus *Deinococcus*". In J. Syst. Bacteriol. 36:202-206. (1986).

Cox, L.J. "A Perspective on Listeriosis", J. of Food Technology Dec. (1989).

Cornelis, J. C. "Legal Administrative and Psychological Barriers to the Industrial Application of Food Irradiation and the trade in Irradiated Food". IAEA-SM-221/6. (1978).

Curtin, L. "Economic Costs Foodborne Diseases", Taller Regional sobre el Uso de la Irradiación para Asegurar la Calidad Higiénica de los Alimentos. (1989). Bs. Argentina.

De, A. K. et al. "In Vitro an in Vivo Studies on the Toxicity of Irradiated Sucrose Solutions". IAEA-SM-166/14. (1978).

Desrosier, N. W. "Elements of Food Technology". AVI Publiisihing Company, Westport, Connecticut. (1977).

Dielh, J. F. "Safety of Irradiated Food". Marcel Dekker. Inc. New York and Basel. (1990).

Doyle, M.P. "Campylobacter Fetus subsp Jejuni and Pathogen of New Concern", J. of Food Protetion. Vol. 44 No. 6 (1981). pp. 480-488.

Farkas, J., Andrassy, E. "Combined Effect of Reduced Water Activity, Heat and Irradiation on Microbial Stability of Canned Goose-liver". IAEA-SM-250/10. (1981).

Feistritzer, W. P. "Tecnología de la Semilla de Cereales". FAO. Impreso en Italia. (1977).

Fennema, O. R. "Food Chemistry". Marcel Dekker Inc., New York and Bassel. (1976).

Fiddler, W., R. A. Gates, J. W. Pensabene, J. G. Phillips, and E. Wierbicki. "Investigations on Nitrosamines in Irradiation-Sterilized Bacon". J. Agric. Food Chem. 29:551-554. (1981).

Figuer, T., y Lafer, M.I. "Rol de la *Salmonella* en la Infección Alimentaria", Taller Regional sobre la Irradiación para Garantizar la Calidad Higiénica de los Alimentos. (1989).

Food Irradiation Newsletter, FAO/OIEA. Vol. 19, No. 1. ISBN 1011-2588. (1990).

Foster, E. M. "A Half Century of Food Microbiology", Food Technology. (1989). pp. 208-244.

Frade, A.H. "Microorganismos Esporaformadores como Responsables de Intoxicaciones Alimentarias", Taller Regional sobre la Irradiación para Garantizar la Calidad Higiénica de los Alimentos. (1989). Bs. Argentina.

Fraser, F. M. "Radiation Processing - Past, Present and Future". Presented to Conference on Radiation Processing. Atomic Energy of Canada Limited Commercial Products. (1979).

Fraser, F. M. "Gamma Radiation Processing Equipment and Associated Energy Requirements in Food Irradiation". IAEA-SM-250/4. (1980).

Fraser, F. M. "Historical Overview and Potential of Food Irradiation". Atomic Energy of Canada Limited Commercial Products. International Symposium on Combination Process in Food Irradiation. (1981).

Frazier, W. C. "Microbiología de los Alimentos". Editorial Acribia, España. (1976).

Furia, T. E. "CRC Handbook of Food Additives". 2nd edition, vol. Y, II. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida. (1981).

Gabor, D., Columbo, A. et al. "Beyond the Age of Waste". 2nd edition. Pergamon Press, Oxford. (1981).



Genigeorgis, C. "Problems Associated with Perishable Processed Meats", Food Technology 40. (1986). pp. 140-154.

Goldblith, S. A. "Historical Development of Food Irradiation". Food Irradiation Proceedings of a Symposium, Karlsruhe. June 1966. Int. Atom. Agency, Vienna. pp3. (1966).

Goresline, H. E. et al. "Tentative Classification of Food Irradiation Processes with Micorbiological Objectives". Nature 204-237, in Dielh Safety of Irradiated Foods 1990. Marcel Dekker. Inc. New York an Bassel. (1964).

Grecz, N., O. P. Snyder, A. A. Walker, and A. Anellis. Effect of Temperature of Liquid Nitrogen on Radiation Resistance of Spores of *Clostridium botulinum*. Appl. Microbiol. 13:527-536. (1965).

Grecz, N., A. A. Wilker, A. Anellis, and D. Berkowitz. "Effectos of Irradiation Temperautre in the Range -196 to 95°C on the Resistance of Spores of *Clostridium botulinum* 33A in Cooked Beef". Can J. Microbiol. 17:135-142. (1971).

Haschek W. M., Lenhart K., Pond W. G. "Pathogenesis of Vitamin D Toxicity". IAEA-SM-221/18. (1978).

Hashisaka, A. E., J. R. Matches, Y. Batters, F. P. Hungate, and F. M. Dong. "Survival of *Listeria monocytogenes* in Mozzarella Cheese and Ice Cream Exposed to Gamma Irradiation. J. Food Protect. 52:490-492. (1989).

Hashisaka, A. E., J. R. Matches, Y. Batters, F. P. Hungate, and F. M. Dong. "Effects of Gamma Irradiation al -78°C on Microbial Populations in Dairy Products". J. Food Sci. 55:1284-1289. (1990).

Hickman J. R. "The Problem of Wholesomeness of Irradiated Food". IAEA-SM-166/69. (1978).

IAEA. "Nuclear Science and Technology in Food and Agriculture". Vienna. (1977).

IAEA. "Food Processing by Irradiation Worldfacts and Trends". News Features No. 5. Vienna, Austria. (1989).

Ichikawa S. "Apuntes de Mutagenesis". Chapingo, Escuela Nacional de Agricultura. (1975).

Inouwaert F. et al. "Influence of Gamma Irradiation on the Provitamin A ( $\beta$ -carotene) in Solution". IAEA-SM-166/2. (1978).

Ito, H. Et. al. "Distribution of Microorganisms in Animal Feeds an their Disinfection by Radiation", Radiat. Phys. Chem. Vol. 18, No. 3-4. (1981). pp. 569-579.

Jacob, M. "Manipulación Correcta de los Alimentos", Organización Mundial de la Salud, Ginebra, ISBN 924354245-1. (1990).

Jay, J. M. Microbiología Moderna de los Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, (1994).

Joint FAO/IAEA. Division of Isotope and Radiation Applications of Atomic Energy for Food and Agriculture Development. "Revised Standard and Code of Practice for Irradiated Food Adopted by the Codex Alimentarius Commission". Food Irradiation Newsletter. Vol. 7. No. 2. (1983).

Josephson, E. S., A. Brynjolfsson, and E. Wierbicki. "The Use of Ionizing Radiation for Preservation of Food and Feed Products". In Radiation Research Biomedical, Chemical, and Physical Perspectives, de. O. F. Nygaard, H. Y. Adler, and W. K. Sinclair, 96-117. New York: Academic Press. (1975).

Kaupert, N. "Factibilidad Técnica de la Irradiación de los Alimentos", Taller Regional sobre Irradiación para Garantizar la Calidad Higiénica de los Alimentos, (1989). Bs. Argentina.

Kaupert, N. "Efectos Químicos y Biológicos de las Radiaciones Ionizantes", Taller Regional sobre Irradiación para Garantizar la Calidad Higiénica de los Alimentos, (1989). Bs. Argentina.

Kampelmacher, E. H. "Food Irradiation is Contribution to Public Health, Control of and Trade in Irradiated Food", IAEA, Viena STI/PUB 788, ISBN 92-0-010089-5. (1989).

Kempe, L. L. "The Potential Problems of Type E Botulism in Radiation-Preserved Seafoods". In Radiation Preservation of Food, Pub No. 1273. Washington, D.C.: Research Council, National Academy of Science. (1965).

Kilburn, R. E., W. D. Bellamy, and S. A. Terni. "Studies on a Radiation-Resistant Pigmented *Sarcina* sp". Radiat. Res. 9:207-215. (1958).

Klinger, I., and Lapidot, M. "Aplication of Ionizing Radiation to Poultry and Meat Products", a Technical monograph. ICGFI/III/WP-6 Consultive Group International Food Irradiation. (1990).

Krabbenhoft, K. L., A. W. Anderson, and P. R. Elliker. "Ecology of *Micrococcus radiodurans*". Appl. Microbiol. 13:1030-1037. (1965).

Lapidot, M., and R. Padova. "Treatment of Animal Feeds with Ionizing Radiation", STI/PUB 470, Vol. II IAEA.

Lasta, J. "Rol de *Campylobacter* en la Infección Alimentaria", Taller Regional sobre Irradiación para Garantizar la Calidad Higiénica. (1989). BS. Argentina.

Lavin, M. F., A. Jenkins, and C. Kidson. "Repair of Ultraviolet Light-Induced Damage in *Micrococcus radiophilus*, and Extremely Resistant Microorganism". J. Bacteriol. 126:587-592. (1976).

Lee, J. S., A. W. Anderson, and P. R. Elliker. "The radiation-Sensitizing Effects of N-ethylmaleimide and Iodoacetic Acid on a Radiation-Resistant". *Micrococcus*. Radiat. Res. 19:593-598. (1963).

Lewis, N. F., D. A. Mandhaves, and U. S. Kumta. "Role of Carotenoid Pigments in Radio-Resistant Micrococci". Can. J. Microbiol. 20:455-459. (1974).

Ley, F. J. New Interest in the Use of Irradiation in the Food Industry. In Food Microbiology: Advances and Prospects, de. T. A. Roberts and F. A. Skinner, 113-129. London: Academic Press.

Loaharanu, S. "Feeding Studies of Irradiated Food with Insects". IAEA-SM-221/22. (1978).

Merrit C. et al. "Chemical Analysis of Radiolysis Products Relating to the Wholesomeness of Irradiated Food". IAEA-SM-221/51. (1978).

Michaine, S., y F., Quevedo. "Aplicación del Enfoque de Análisis de Riesgos y Determinación de Puntos Críticos de Control (ARPC) en el Mejoramiento de la Calidad e Inocuidad de los Alimentos", III Taller sobre Normalización de Alimentos y Salud para América Latina y del Caribe, (1987).

Michaine, S. "Listeriosis", Reunión de la Comisión de Inspección Veterinaria de Carnes de la Cuenca de la Plata (CINVECC). (1988). Bs. Argentina.

Midura, T. F., L. L. Kempe, J. T. Graikoski, and N. A. Milone. "Resistance of *Clostridium perfringens* Type A Spores to Gamma-Radiation". Appl. Microbiol. (1965).

Mitchel, H. S. et al. "Nutrición y Dieta". Editorial Interamericana. México. (1978).

Monckeberg, B.F. "Preservación de Alimentos en el Subdesarrollo", Taller Regional de Factibilidad Técnico Económica, Santiago de Chile, (1990).

Morganstern K. H. "Economics of Electron Accelerators in the Preservation of Food by Irradiation". IAEA-SM-221/60. (1978).

Morrison, R. M., "Economies of Scale in Single-Purpose Food Irradiation". Food Irradiation Processing. Whashington, E. U. A. STI/PUB/695. IAEA, (1985).

Moseley, B. E. B. "Photobiology and Radiobiology of *Micrococcus (Deinococcus) radiodurans*". Photochem Photobiol. Rev. 7:223-274. (1976).

Mossel, D.A.A. "Protección del Consumidor frente a las Enfermedades Entéricas Febriles Causadas por Alimentos de Origen Animal", IAEA, TEC DOC-331. (1985).

Navarrete T. M. , Cabrera M. L. "Introducción al Estudio de los Radioisotopos". Colección CFE No. 10. México, D.F. (1979).

Navarrete T. M. , Cabrera M. L. "Introducción al Estudio de los Radioisotopos". Porcia Editores. México, D.F. (1993).

Niemand, J. G., H. J. van der Linde, and W. H. Holzapfel. "Shelf-Life Extension of Minced Beef through Combined Treatments Involving Radurization". *J. Food Protect.* 46:791-796. (1983).

Niven, C. F., Jr. "Microbial Aspects of Radiation Preservation of Food". *Ann. Rev. Microbiol.* 12:507-524. (1958).

OMS. "La Comestibilidad de los Alimentos Irradiados". Informe de un Comité Mixto FAO/OIEA/OMS de Expertos. OMS Serie de Informes Técnicos 659, OMS, Ginebra. (1981).

Quevedo, F., y Thakur, A.S. "Parasitosis Transmitidas por Alimentos", Serie de monografías científicas y técnicas, Centro Panamericano de Zoonosis OPS/OMS. (1980).

Report of the Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee 27 Oct.-3, Nov., 1980. "Wholesomeness of Irradiated Food Summary of the Report of a Joint FAO/IAEA/WHO". *Food Irradiation Information*. Aug. 1981. No. 11 Published by the International Project in the Field of Food Irradiation.

Roberts, T. A., and M. Ingram. "The Resistance of Spores of *Clostridium botulinum* Type E to Heat and Radiation". *J. Appl. Bacteriol.* 28:125-141. (1965).

Roberts, T. A., and M. Ingram. "Radiation Resistance of Spores of *Clostridium botulinum* Species in Aqueous Suspension". *J. Food Sci.* 30:879-885. (1965).

Roberts, D. "Factors Contributing to Outbreaks of Food Poisoning in England and Wales". *J. Hyg. Camb.* V 89, 1970-1979. (1982). Printed Great Britain. pp. 491-498.

Roberts, T. "Microbial Pathogens in Raw Pork, Chicken and Beef: Benefit Estimates for Control Using Irradiation", *American Journal of Agricultural Economics*. Vol. 67. No. 5. (1985). pp. 957-965.

Rubio, C. T. "Problemas Económicos Causados por Pérdidas Post Cosecha en Latinoamérica". *Estudios sobre Uso de la Irradiación para Garantizar la Calidad Higiénica de los Alimentos*, Taller Regional Uso de la Irradiación para Garantizar la Calidad Higiénica de los Alimentos. (1989). Bs. Argentina.

Rubio, C. T. "Irradiación de Alimentos: Una Tecnología Viable para Países en Desarrollo". *Irradiación de Alimentos. Memoria del Seminario Nacional Realizado en México*, D. F., Nov., (1990).

Rowley, D. B., and A. Brynjolfsson. "Potential Uses of Irradiation in the Processing of Food". *Food Technol.* 34(10):75-77. (1980).

Schubert J. "Toxicological Studies on Irradiated Food and Food Constituents". *IAEA-SM-221/29*. (1978).

Shane, S. M. "Quality of Irradiated Meat", *National Seminary on Food Irradiation Mexico City*. (1990).

Sivinsky, J. S. "Efficacy of Trichinosis by Low-Dose Irradiation of Pork", *Radiat. Phys. Chem.* 25. (1985). pp. 263-269.

Sivinsky, J. S. "Food Irradiation Process Control". *National Seminary on Food Irradiation. México*, D. F. (1990).

Snauwaert F. et al. "Radiation Destruction of Vitamin in Lipid Solvents". *AIEA-SM-221/2*. (1978).

Stoewsand G. S. "Influence of Endogenous Compounds in Food on the Toxicity of Enviromental Contaminants". IAEA-SM-250/5. (1981).

Sullivan, R., A. C. Fassolitis, E. P. Larkin, R. B. Read, Jr., and J. T. Peeler. "Inactivation of Thirty Viruses by Gamma Radiation". Appl. Microbiol. 22:61-65. (1971).

Taub I.A. et al. "Radiation Chemistry of High Protein Food Irradiated al Low Temperature". Food Irradiation Newsletter. Vol. 3 No.5. (1980).

Teufel, P. "Microbial Implications of the Food Irradiation Process". Food Irradiation Information. Aug. 1981-No. 11. Published by the International Project in the Field of Food Irradiation. (1981).

Tood, E. "Poultry Associated Foodborne Disease is Occurrence Cost Source and Prevention", J. of Food Protection Vol. 43. No. 2. (1980). pp. 129-139.

Vakil, U. K. et al. "Nutritional an Wholesomeness Studies with Irradiated Food: India's Program". IAEA-SM-166/12. /1978).

Van Kooij, J. K. et al. "Application of the Ames Mutagenicity Test to Food Processed by Physical Preservation Methods". IAEA-SM-221/42. (1978).

Van Kooij, J. K. "Food Preservation by Irradiation". IAEA Bulletin. Vo. 23 No. 3. (1979).

Van Kooij, J. K. "World-Wide Utilization of Food Irradiation". Head, Food Preservation Section, Joint FAO/IAEA Division of Isotope and Radiation Applications of Atomic Energy for Food and Agricultural Development. International Meat Research Congress, 26 th European Meeting of Meat Research Workers.31 Aug. Through 5 Sept. 1980. Colorado Springs, Colorado U.S.A. (1980).



Vas, K. "Advances in Food Irradiation Dosimetry and Processing Conditions". Food Irradiation Information. Aug. 1981-No. 11. Published by the International Project in the Field of Food Irradiation. (1981).

Vásquez, I. .L. y colaboradores. "El más Grande Brote de Triquinosis Reportado en México", Revista Mexicana de Parasitología Vol. 3. No. 1. (1990).

Wierbicki, E., M. Simon, and E. S. Josephson. "Preservation of Meats by Sterilizing Doses of Ionizing Radiation". In Radiation Preservation of Food, Pub. No. 1273,383-409. Washington, D. C.: National Research Council, National Academy of Science. (1965).

Zaytsev, A. N. et al. "Wholesomeness Studies on Irradiated Food - Past and Future Research within the Soviet Union". Food Irradiation Information. No. 1975. Published by the International Project in the Field of Food Irradiation. (1975).

---

---

**APÉNDICE**

---

---

TABLA No. 1

VEINTE PRINCIPALES CAUSAS DE MORBILIDAD GENERAL EN MÉXICO

Núm. Orden	Padecimiento	Casos	Tasa *
1	Infecciones respiratorias agudas	9,668,848	11,473.34
2	Otras inf. intestinales y las mal definidas	2,466,721	2,927.08
3	Amibiasis	1,068,175	1,267.53
4	Ascariasis	507,634	602.37
5	Dermatofitosis y dermatomicosis	329,296	390.75
6	Hipertensión arterial	215,557	255.79
7	Parasitosis (sin especificar)	191,451	227.18
8	Sarna	186,030	220.75
9	Angina Estreptococcica	172,775	205.02
10	Oxiuriasis	160,319	190.24
11	Varicela	126,191	149.74
12	Diabetes mellitus	125,619	149.06
13	Paludismo	101,241	120.14
14	Neumonías y bronconeumonías	96,539	114.20
15	Paratifoidea y otras salmonellas	93,711	111.20
16	Tricomonas urogenital	92,165	109.37
17	Candidiasis urogenital	64,160	76.13
18	Intoxicación por ponzoña de animales	53,063	62.97
19	Parasitosis epidémica infecc.	51,346	60.93
20	Intoxicación alim. bact.	48,074	57.05
	Todas las demás	388,947	461.54
	<b>Total</b>	<b>16,207,862</b>	<b>19,232.72</b>

\* Por 100,000 habitantes.

Fuente: Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud

TABLA No. 2

A. INCIDENCIA DE LAS ENFERMEDADES EN MÉXICO

Padecimien- to/año	1978	1979	1980	1981	1982
Fiebre tifoidea	4.15	4.22	7.71	7.14	9.27
Paratifoidea y otras enf.	22.49	27.82	27.64	35.45	38.87
Disenteria bacilar	6.05	8.12	8.03	5.90	5.30
Inc. de otras infecc. ints.	884.14	877.40	1661.13	2382.91	2749.69
Amibiasis ints.	275.59	308.63	485.63	751.32	921.76

B. INCIDENCIA DE ENFERMEDADES EN MÉXICO

Padecimien- to/año	1983	1984	1985	1986	1987
Fiebre tifoidea	10.66	9.93	10.66	10.19	13.65
Paratifoidea y otras enf.	44.76	40.48	42.71	60.68	84.33
Disenteria bacilar	5.99	6.01	2.71	7.09	13.25
Inc. de otras infecc. ints.	3137.48	3141.36	3459.13	2445.50	3192.14
Amibiasis ints.	1046.77	1108.82	969.21	1033.46	1241.73

Tasa por 100,000 habitantes

Fuente: Dirección General de Epidemiología S.S.

### C. INCIDENCIA DE ENFERMEDADES EN MÉXICO

Padecimiento/año	1988	1989
Fiebre tifoidea	17.29	20.0
Paratifoidea y otras enfs.	102.01	111.20
Disenteria bacilar	15.99	16.50
Inc. de otras infecciones	3180.28	2927.08
Amibiasis ints.	1318.12	1267.53
Cisticercosis	0.68	0.69
Taeniasis	15.48	16.61
Toxoplasmosis	0.16	0.28
Triquinosis	0.29	0.26
Intox. bact.	48.92	57.05

Tasa por 100,000 habitantes

Fuente: Dirección General de Epidemiología S.S.

TABLA No. 3  
 FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA PATOGÉNESIS DE LAS  
 ENFERMEDADES DE ETIOLOGÍA MICROBIANA TRANSMITIDAS POR LOS  
 ALIMENTOS

Efecto que Contribuye	Porcentaje
Refrigeración inadecuada	48
Almacenamiento a temp. ambiente	34
Tratamiento térmico inadecuado	27
Contaminación por el manipulador de los alimentos	23
Recalentamiento culinario inadecuado	20
Almacenamiento defectuoso o temperatura elevada	19
Contaminación cruzada entre alimentos frescos y cocidos	15
Limpieza inadecuada de equipo	11
Ingestión de productos crudos	8

(Según Bryan, F.L. 1980 J. Food Protection, 43(2)140-150).

TABLA No. 4  
RELACIÓN ALIMENTO- BACTERIA- PARÁSITO

Alimento	Bacteria	Parásito
Aves de corral	<i>Salmonella</i>	<i>T. Gondii</i>
	<i>Campylobacter</i>	
	<i>Cl. Perfringens</i>	
	<i>S. Aureus</i>	
	<i>E. Coli</i> (patógena)	
	<i>Listeria Monocitogenes</i>	
	<i>Yersinia Enterocolitica</i>	
Carnes (res, puerco, cordero, etc.)	<i>Salmonella</i>	<i>T. Gondii</i>
	<i>Campylobacter</i>	<i>Hydatidiosis</i>
	<i>Yersinia Enterocolitica</i>	<i>T. Spirallis</i>
	<i>Listeria</i>	<i>C. Cellulosae</i>
	<i>S. Aureus</i>	<i>C. Bovis</i>
	<i>E. Coli</i> (patógena)	
	<i>Cl. Perfringens</i>	
Pescados y mariscos	<i>Salmonella</i>	
	<i>Shigella</i>	
	<i>V. Prarahemoliticus</i>	
	<i>V. Vulnificans</i>	
	<i>L. Monocitogenes</i>	
	<i>Yersinia Enterocolitica</i>	

Fuente: Klinger y Lapidot 1990.

TABLA No. 5  
 DISTRIBUCIÓN DE BACTERIAS PATÓGENAS INTESTINALES EN  
 INGLATERRA  
 (1977-1980)

Bact. Patógenas	No. de casos	Casos de enteritis	Frecuencia %		
			1978	1979	1980
Salmonella	395	229	4.9	3.2	3.2
Shiguella	130	97	1.9	1.2	1.2
Y. Enterocolitica	158	120	2.2	2.3	1.8
Campylobacter	435	386	6.2	7.8	6.8
Total	1.118	872			

Fuente: Walder 1982.



TABLA No. 6  
 ALGUNOS ISÓTOPOS RADIACTIVOS DE LOS ELEMENTOS ENCONTRADOS  
 EN EL AGUA DE LLUVIA (COSMOGÉNICOS)

Radioisótopo	Vida Media	Velocidad de Producción en la Atmósfera (núcleos/m <sup>2</sup> -s)
<sup>3</sup> H	12.35 años	2500
<sup>7</sup> Be	53.4 días	81
<sup>10</sup> Be	1.6 x 10 <sup>6</sup> años	360
<sup>14</sup> C	5736 años	22000
<sup>22</sup> Na	2.6 años	0.6
<sup>26</sup> Al	7.16 x 10 <sup>6</sup> años	1.7
<sup>32</sup> Si	280 años	-
<sup>32</sup> P	14.3 días	-
<sup>33</sup> P	25.3 días	-
<sup>35</sup> S	87.5 días	14
<sup>36</sup> Cl	3 x 10 <sup>5</sup> años	11
<sup>39</sup> Ar	269 años	

TABLA No. 7

ISÓTOPOS RADIATIVOS QUE ENTRAN EN LA MEZCLA ISOTÓPICA DE LOS  
ELEMENTOS (PRIMORDIALES) ENTRE POTASIO Y BISMUTO

Radioisótopo	Vida Media años	Abundancia isotópica %
<sup>40</sup> K	$1.3 \times 10^9$	0.0118
<sup>50</sup> V	$6 \times 10^{15}$	0.24
<sup>87</sup> Rb	$4.7 \times 10^{10}$	27.85
<sup>113</sup> Cd	$9 \times 10^{10}$	12.3
<sup>115</sup> In	$6 \times 10^{14}$	95.72
<sup>123</sup> Te	$1.24 \times 10^{13}$	0.87
<sup>138</sup> La	$1.3 \times 10^{11}$	0.089
<sup>144</sup> Nd	$2.1 \times 10^{15}$	23.85
<sup>147</sup> Sm	$1.1 \times 10^{15}$	15
<sup>148</sup> Sm	$7 \times 10^{15}$	11.2
<sup>152</sup> Gd	$1.1 \times 10^{14}$	0.20
<sup>156</sup> Dy	$2 \times 10^{14}$	0.06
<sup>176</sup> Lu	$3 \times 10^{10}$	2.6
<sup>174</sup> Hf	$2 \times 10^{15}$	0.18
<sup>187</sup> Re	$5 \times 10^{10}$	62.6
<sup>186</sup> Os	$2 \times 10^{15}$	1.6
<sup>190</sup> Pt	$6 \times 10^{11}$	0.0127
<sup>209</sup> Pb	$>2 \times 10^{18}$	100

TABLA No. 8

EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE IRRADIACIÓN EN LOS VALORES D  
CORRESPONDIENTES A DOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR LA CEPA  
33A DE *C. BOTULINUM* EN CARNE DE VACA PICADA PRECOCINADA

Temperatura (°C)	D (Mrad)	
	Radapertización	
	Aprox. $5 \times 10^6$ esporas/lata	Aprox. $2 \times 10^8$ esporas/lata
-196	0.577	0.595
-150	0.532	0.543
-100	0.483	0.486
-50	0.434	0.430
0	0.385	0.373
25	0.360	0.345
65	0.321	0.299

Fuente: Jay 1994.

Nota: Los datos están basados en la destrucción lineal de las esporas.

TABLA No. 9  
 VARIACIONES EN LOS VALORES D DE RADIACIÓN CORRESPONDIENTES A  
 CEPAS DE *C. BOTULINUM* A 30°C EN TRES PRODUCTOS CÁRNICOS

Cepa Número	D (Mrad)		
	Radapertización		
	Empanada de bacalao	Cecina de vaca	Embutido de carne de cerdo
33A	0.203	0.129	0.109
77A	0.238	0.262	0.098
41B	0.245	0.192	0.184
53B	0.331	0.183	0.076

Fuente. Jay 1994.

Nota: Valores calculados mediane la ecuación de Schmidt.

TABLA No. 10  
VALORES D DE RADIACIÓN SEÑALADOS POR DIVERSOS AUTORES

Microorganismos/sustancia	D (kGy)
<b>Bacterias</b>	
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	0.26
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0.14
Esporas de <i>B. pumilus</i> , ATCC 27142	1.40
Esporas de <i>C. botulinum</i> , tipo E	1.1-1.7
<i>C. botulinum</i> , tipo E Beluga	0.8
Esporas de <i>C. botulinum</i> 62 A	1.0
Esporas de <i>C. botulinum</i> , tipo A	2.79
Esporas de <i>C. botulinum</i> , tipo B	2.38
Esporas de <i>C. botulinum</i> , tipo F	2.5
Toxina de <i>C. botulinum</i> A en pasta de carne	36.08
Esporas de <i>C. bifementans</i>	1.4
Esporas de <i>C. butyricum</i>	1.5
Esporas de <i>C. perfringens</i> tipo A	1.2
Esporas de <i>C. sporogenes</i> (PA 3679/S <sub>2</sub> )	2.2
Esporas de <i>C. sordellii</i>	1.5
<i>Enterobacter cloacae</i>	0.18
<i>Escherichia coli</i>	0.20
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.42-0.55
<i>Moraxella phenylpiruvica</i>	0.86
<i>Pseudomonas putida</i>	0.08
<i>P. aeruginosa</i>	0.13
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.50
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.16

Enterotoxina A de *S. aureus* en pasta de carne 61,18; 208,49

*Y. enterocolitica*, carne picada de vaca a 30°C 0.388

### Hongos

Esporas de *A. flavus* (media) 0.66

*A. flavus* 0.55-0.06

*A. niger* 0.042

*Penicillium citrinum*, NRRL 5452 (media) 0.88

*Penicillium* sp. 0.42

### Virus

Adenovirus (4 cepas) 4.1-4.9

Coxsackievirus (7 cepas) 4.1-5.0

Echovirus (8 cepas) 4.4-5.1

Herpes simplex 4.3

Poliovirus (6 cepas) 4.1-5.4

---

TABLA No. 11  
ALIMENTOS Y PRODUCTOS ALIMENTICIOS CUYA IRRADIACIÓN ESTÁ  
PERMITIDA POR VARIOS PAÍSES Y POR LA OMS

Productos	Objetivo	Escala de dosis (kGy)	Número de países <sup>a</sup>
Patatas	Inhibición de grillones	0.1-0.15	17
Cebollas	Inhibición de grillones	0.1-0.15	10
Ajos	Inhibición de grillones	0.1-0.15	2
Champiñones	Inhibición de crecimiento	2.5 máx.	1
Trigo, harina de trigo	Desinfestación de insectos	0.2-0.75	4
Frutas desecadas	Desinfestación de insectos	1.0	2
Semillas de cacao	Desinfestación de insectos	0.7	1
Concentrados de alimentos secos	Desinfestación de insectos	0.7-1.0	1
Carne de ave fresca	Radurización <sup>b</sup>	7.0 máx.	2
Bacalao y pescado rojo	Radurización	2.0-2.2	1
Espicias, condimentos	Radurización	8.0-10.0	1
Carnes semiconservadas	Radurización	6.0-8.0	1
Frutas frescas <sup>c</sup>	Radurización	2.5	6
Carnes crudas	Radurización	6.0-8.0	1
Filetes de bacalao y de eglefino	Radurización	1.5 máx.	1
Espárragos	Radurización	2.0	1

Canales de ave (evisceradas)	Radurización	3.0-6.0	2
Camarones	Radurización	0.5-1.0	1
Prod. cármicos de preparación culinaria	Radurización	8.0	1
Comidas sometidas a congelación	Radapertización	25.0 mín.	2
Alimentos enlatados/líquidos, frescos	Radapertización	25.0 mín.	1

---

Fuente: Urbain 1978.

<sup>a</sup> Incluyendo las recomendaciones de la OMS.

<sup>b</sup> Para salmonelas

<sup>c</sup> Incluye tomates, melocotones, albaricoques, fresas, uvas, etc.



TABLA No. 12  
 EFECTOS DE LAS CONDICIONES OXIDANTE Y REDUCTORA EN LA  
 RESISTENCIA A LA RADIACIÓN DE *DEINOCOCCUS RADIODURANS* (TABLA  
 DE VALORES MEDIOS)

Condición	Log de la fracción superviviente
Tampón, no modificado	-3.11542
Flujo de oxígeno	-3.89762
Flujo de nitrógeno	-2.29335
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . (100 ppm)	-3.47710
Tioglicolato (0.01 M)	-1.98455
Cisteína (0.01 M)	-0.81880
Ascorbato (0.01 M)	-5.36050

Fuente: Jay 1994.

*Nota:* Valores determinados mediante la reducción de los recuentos tras exposición a 1 Mrad de radiación gamma en tampón de fosfato 0.05 M.

LSD:P = 0.05 (1.9816); P = 0.01(2.61533).

TABLA No. 13  
COSTOS DE IRRADIACIÓN

Alimento y Producción en la Planta (millón de libras)	Dosis (KGy)	Costo Unitario (C/LB)
<b>Pollo</b>		
52	2.5	1.6
104	2.5	1.3
208	2.5	1.0
416	2.5	0.9
<b>Carne de Puerco</b>		
66.5	0.7	0.7
133	0.7	0.4
26	0.7	0.3
532	0.7	0.9

Fuente: Curtin 1989.

TABLA No. 14  
COMPARACIÓN DE BENEFICIO ACTUAL CONTRA COSTO

Producto	Beneficio	Costo del Proceso	C/B	Beneficio Neto
	Millones	de	dóla	res
Puerco	180-280	80	2.3-3.5	106-200
Pollo	341-653	155	2.2-4.2	186-498

Fuente: Curtin 1989.

TABLA No. 15  
ENERGÍA UTILIZADA (kilojoules/kilogramo) ASOCIADA CON DIFERENTES  
MÉTODOS DE PROCESAMIENTO EN POLLO

Producto	Energía (kJ/kg)
Pollo crudo cortado y refrigerado (-5°C)	17,760
Pollo crudo cortado refrigerado y radurizado	17,860
Pollo crudo cortado congelado	46,600
Rollo de pollo cocido congelado	27,550
Carne de pollo enlatada (cocida con calor)	20,180
Rollo de pollo cocido y radappetizado	14,460
Servicio individual de pollo cocido y radappetizado	15,460

Fuente: Brynjolfson A. 1978.

**TABLA No. 16**  
**COSTO-BENEFICIO DE MEDIDAS DE CONTROL PARA EVITAR LAS**  
**ENFERMEDADES QUE SE TRANSMITEN A TRAVÉS DE LOS ALIMENTOS**

<b>Medidas de Control</b>	<b>Efectividad %</b>	<b>Costos \$ 1,000,000</b>	<b>Beneficio E.U.A.</b>
Huevos de cria limpios	40	4	13
Comida limpia	80	8	10
Criaderos limpios	40	8	9
Dióxido de cloro	50	1.5	27
Procesamiento limpio	80	1	10
Irradiación	100	20	55
Educación a amas de casa	5	0.5	8
Educación en restaurantes	16	2	11

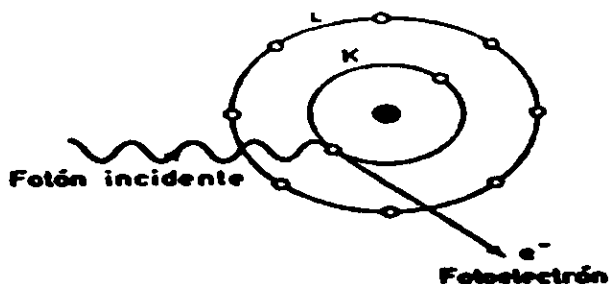
Fuente: Curtin 1989.

TABLA No. 17

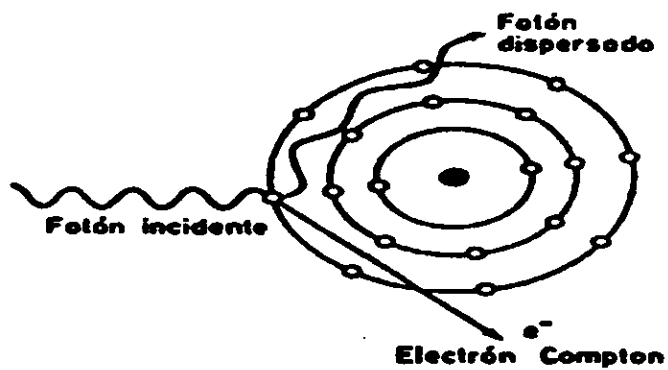
INSTITUTOS DE INVESTIGACIÓN QUE PARTICIPAN EN EL PROGRAMA DE  
INVESTIGACIÓN COORDINADA SOBRE TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE LOS  
ALIMENTOS IRRADIADOS

Bangladesh	Instituto de Investigación sobre Irradiación y Control de Plagas
Bélgica	Centro de Energía Nuclear y Agricultura en Piracicaba
Bulgaria	Instituto de Investigación Tecnológica de Carne, en Sofía
Egipto	Departamento de Protección de Plantas de la Universidad de Ain Shams, El Cairo
Ghana	Comisión de Energía Atómica de Ghana, en Accra
Hungría	Instituto Central de Investigación en Alimentos, Budapest
India	Centro de Investigación Atómica Bhabha, Bombay
Indonesia	Centro de Investigación Pasar Jumat, Jakarta
Irak	Departamento de Biología del Instituto de Investigación Nuclear, Bagdad
Israel	Servicio de Protección Ambiental, Jerusalén
Italia	Centro de Estudios Nucleares de Cassaccia, Roma
Japón	Instituto Nacional de Investigación en Alimentos Yatabe, Tsukuba
Holanda	Instituto de Ciencias Atómicas en Agricultura, Wageningen
Nigeria	Instituto Nigeriano de Investigación sobre

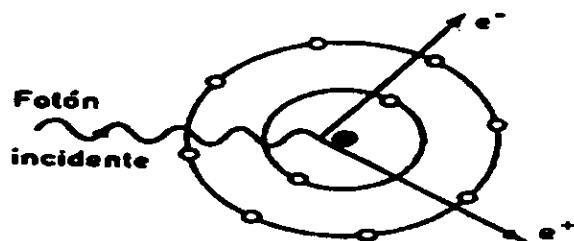
Filipinas	Productos Almacenados, Ibadán División de Química del Centro Filipino de Investigación Atómica, Ciudad de Quezón
Filipinas	Departamento de Procesado de Alimentos de la Terminal de Alimentos, Metro Manila
Sudáfrica	División de Química del Consejo de Energ Atómica, Pretoria
Tailandia	Universidad Kasetsart. Bangkok
Uruguay	Comisión Nacional de Energía Atómica, Montevideo
Estados Unidos	Departamento de Biología del Insituto Tecnológico de Illinois, Chicago (Feistritz W. P. 1977)



Representación esquemática del efecto fotoeléctrico



Representación esquemática del efecto Compton



Representación esquemática de la producción de un par

FIG. I. INTER. RAD. ELECT.-MATERIA

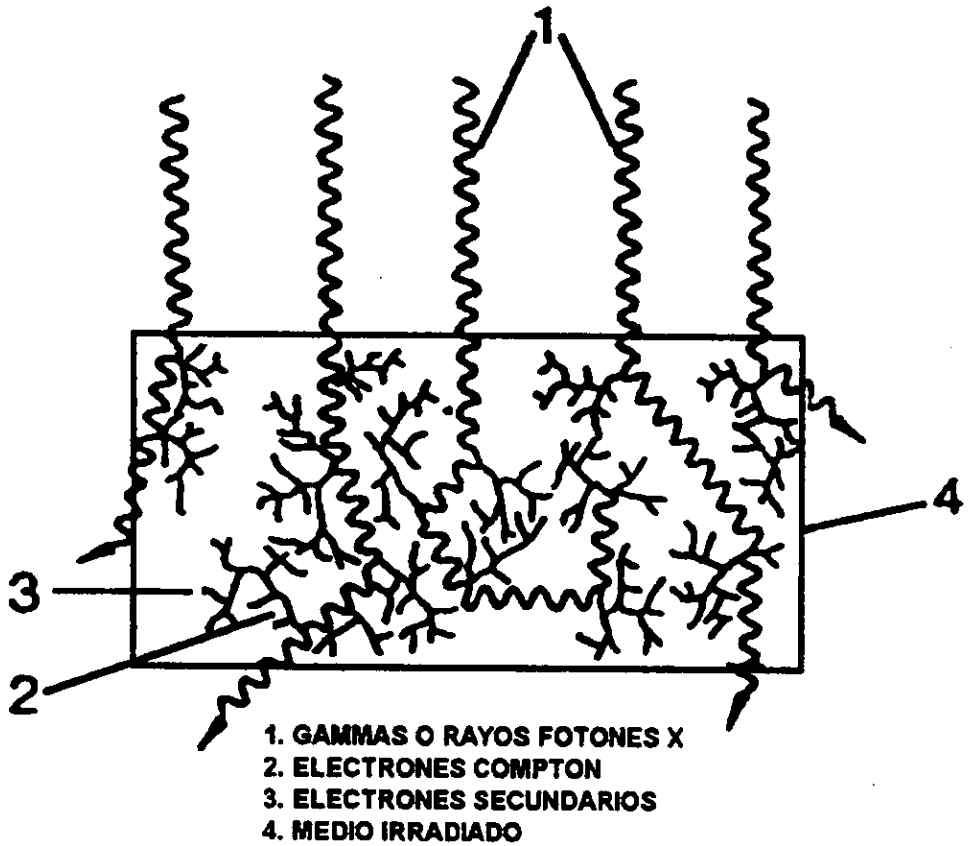


FIG. II. INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON LA MATERIA.

FUENTE: DIEHL 1990.