



Invenio

Universidad del Centro Educativo Latinoamericano

seciyd@ucel.edu.ar

ISSN (Versión impresa): 0329-3475

ARGENTINA

2001  
Rodrigo Suárez  
CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR IRRADIACIÓN  
*Invenio*, junio, vol. 4, número 006  
Universidad del Centro Educativo Latinoamericano  
Rosario, Argentina  
pp. 85-124

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

---

Universidad Autónoma del Estado de México

<http://redalyc.uaemex.mx>



# CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR IRRADIACIÓN

Rodrigo Suárez\*

**RESUMEN:** El objetivo que me he propuesto en el presente trabajo se ha centrado en recopilar la información disponible -y ordenarla para su mejor comprensión- sobre la irradiación de alimentos; tema de sumo interés para el Ingeniero en Tecnología de los Alimentos, y que éste no debe ignorar, ya que nuestro país es uno de los pioneros en utilizar dicha tecnología en el mundo, contando con plantas propias de irradiación y realizando además trabajos de investigación y desarrollo. Es de suponer que este campo de tecnología alimentaria tiene enormes posibilidades de expansión en un futuro cercano. Asimismo, en el presente trabajo, he adjuntado, como Anexo, toda la legislación vigente sobre el citado tema hasta la fecha del Código Alimentario Argentino, desde las consideraciones generales hasta la irradiación de cada uno de los productos permitidos; y como Apéndice la definición de algunos de los términos específicos y la equivalencia de algunas medidas.

**ABSTRACT:** *Preservation of food by irradiation.*

The purpose of this paper is to compile the available information about food irradiation and to order it, so that it is better understood. This is an extremely important subject for Engineers in Food Technology and should not be ignored by them, considering that our country is a pioneer in the use of said technology in the world, that it has its own irradiation plants and that it carries out activities of research and development. This field of Food Technology is expected to have enormous possibilities of expansion in the near future. The Annex of this paper comprises all the legislation of the Argentine Food Code, currently in force, on this subject, and it includes general considerations as well as the irradiation of each of the products allowed. The Appendix includes the definition of some specific terminology and the equivalences of some measures.

## Irradiación

La irradiación de alimentos es un método físico de conservación que presenta interesantes beneficios pues prolonga el tiempo de comercialización de los productos y mejora la calidad higiénico-sanitaria de los mismos.

La *radiación* se puede *definir* como la emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material. Durante su investigación encaminada a descubrir procedimientos nuevos y más eficaces para conservar alimentos, los investiga-

dores han prestado especial atención al posible empleo de radiaciones de distinta frecuencia, que se extienden desde la corriente eléctrica de baja frecuencia, hasta los rayos gamma de alta frecuencia. Muchas de estas investigaciones se han centrado en el empleo de los **rayos ultravioleta**, de las **radiaciones ionizantes**, y del calentamiento mediante **microondas**.

En el espectro total de radiaciones electromagnéticas, se suelen distinguir dos clases distintas de las mismas, situadas una a cada lado del espectro visible. La radiación de baja frecuencia, de gran longitud de

---

\* *Rodrigo Suárez* se ha graduado en la Universidad del Centro Educativo Latinoamericano como Ingeniero en Tecnología de Alimentos. El presente trabajo fue realizado como alumno de la carrera de ingeniería de alimentos y terminado en Abril de 1998.

onda y de escasa energía cuántica, se extiende desde las ondas de radio hasta el espectro infrarrojo. El efecto de estas radiaciones sobre los microorganismos está relacionado tanto con su propia perturbación térmica como con la que experimenta el alimento. Por el contrario, las radiaciones de alta frecuencia y de longitud de onda más corta, poseen una gran cantidad de energía cuántica y, de hecho, excitan o, por el contrario, destruyen tanto los compuestos orgánicos (son capaces de romper las moléculas en iones, de aquí que se emplee el término de radiaciones ionizantes), como a los microorganismos, sin calentar el alimento. La destrucción de microorganismos sin producción de temperaturas elevadas sugirió el término de “esterilización fría”.

### **Radiaciones ionizantes**

Las radiaciones clasificadas como ionizantes incluyen los Rayos X, Rayos Gamma ( $\gamma$ ), los Rayos Catódicos o Rayos Beta ( $\beta$ ), los Protones, los Neutrones y las Partículas Alfa ( $\alpha$ ).

Los *Neutrones* dejan radioactividad residual en los alimentos, mientras que los protones y las partículas alfa tienen poco poder de penetración, por consiguiente estas radiaciones no resultan prácticas para ser utilizadas en la conservación de alimentos.

Los *Rayos X* son ondas electromagnéticas penetrantes que se originan en el interior de un tubo de vacío mediante el bombardeo con rayos catódicos (electrones de alta velocidad) de un electrodo de un metal pesado. En la actualidad no es rentable su empleo en la industria alimentaria debido a su poca eficacia y elevado costo para obtenerlos, ya que al generarlos se aprovecha alrededor del 3 al 5% de la energía electrónica aplicada.

Los *Rayos Gamma* ( $\gamma$ ) son similares a los rayos X, es decir, emiten una radiación de tipo análoga, radiación electromagnética de pequeña longitud de onda, con la diferencia de que son emitidos por productos secundarios resultantes de la fisión atómica, o proceden de isótopos radiactivos de estos productos secundarios, por lo que es ésta la forma de radiación más barata para la conservación de alimentos. Son muy penetrantes y sus mayores longitudes de onda son unas 20 veces menores que las de los rayos X de menor longitud de onda. En la mayoría de las experiencias se han utilizado como fuentes de estos rayos el núcleo excitado de elementos tales como el  $\text{Co}^{60}$  y el  $\text{Cs}^{137}$ , siendo el  $\text{Co}^{60}$  el más utilizado en aplicaciones industriales. (Ver Apéndice 1).

Los *Rayos Beta* ( $\beta$ ) son flujos de electrones (Partículas Beta) emitidos por material radiactivo. Los electrones son desviados por campos eléctricos y magnéticos. Su poder de penetración depende de la velocidad con la cual inciden en el electrodo: cuanto mayor es la carga de los electrones, tanto mayor es su poder de penetración. Los rayos catódicos son los mismos, excepto que son emitidos por el cátodo de un tubo de vacío.

Los *Rayos Catódicos* son flujos de electrones (Partículas Beta) procedentes del cátodo de un tubo de vacío. Es un largo tubo de vidrio con dos electrodos en sus extremos que se conecta a una fuente de potencial elevado y por medio de un tubo lateral se conecta una bomba de vacío, a presiones del orden de centésimos de mm de mercurio se emite un haz de rayos que sale del electrodo negativo y formado por corpúsculos denominados electrones, de carga negativa. En la práctica estos electrones se aceleran mediante métodos eléctricos especia-

les. Cuanto mayor es esta aceleración (mayor energía en MeV), tanto más profunda es la penetración de los rayos catódicos en los 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. Entre las fuentes comerciales de rayos catódicos están los generadores de Van der Graff y los aceleradores lineales. Parece ser que estos últimos se adaptan mejor para ser utilizados en conservación de alimentos.

### Rayos gamma y rayos catódicos

Para cantidades iguales de energía absorbida, estas dos clases de rayos son igualmente eficaces y producen alteraciones similares en los alimentos que se están tratando, se estudiarán conjuntamente:

### Penetración

Los rayos  $\gamma$  son muy penetrantes, si bien su eficacia disminuye en progresión geométrica a medida que aumenta su profundidad de penetración. En la mayoría de los alimentos son eficaces a profundidades de incluso 20 cm, aunque depende del tiempo que éstos hayan estado expuestos a la radiación.

Los rayos catódicos, por el contrario, tienen poco poder penetrante siendo eficaces a una profundidad de 0.5 cm por cada MeV de energía, en el caso de que se emplee la "Irradiación Cruzada", método que consiste en irradiar el alimento desde los lados opuestos.

La cantidad de dosis absorbida en un determinado material aumenta hasta alcanzar un máximo a una profundidad igual a aproximadamente 1/3 de la penetración, y a

partir de esa profundidad disminuye hasta cero.

### Eficacia

Los rayos catódicos son direccionales, tienen la propiedad de propagarse en línea recta, se transmiten con poca desviación angular, es decir, se trata de una emisión dirigida (siempre que no estén afectados por campos eléctricos o magnéticos), y por consiguiente, se pueden emplear con mayor eficacia que los rayos gamma, los cuales son emitidos desde las fuentes radiactivas en todas las direcciones.

La eficacia máxima de aprovechamiento de los rayos catódicos oscila entre el 40 al 80%, según la forma y tamaño del objeto irradiado, mientras que para los rayos gamma la eficacia de aprovechamiento es del 10 al 25%.

Las fuentes radiactivas que emiten rayos gamma se desintegran constantemente por lo que se debilitan durante el transcurso del tiempo. El cobalto radiactivo de peso atómico 60, por ejemplo, pierde la mitad de su radiactividad en un período de semidesintegración de 5,27 años y es aprox.300 veces más poderoso que el radio. Con el fin de mantener un determinado nivel de potencial radiactivo la fuente debe ser cambiada periódicamente. Este inconveniente se supera si se utiliza el Cs<sup>137</sup> que tiene una vida media de 30,17 años.

### Seguridad

Los requerimientos de seguridad para ambos tipos de instalaciones son distintos ya que para el empleo de rayos catódicos no se utilizan elementos radiactivos, son direccionales y menos penetrantes. Los aceleradores de electrones son máquinas que pueden desconectarse cuan-

do se desee interrumpir su uso, ya sea para trabajos de mantenimiento o de reparaciones, se emplean para irradiar grandes volúmenes de alimentos que pueden circular frente al haz de electrones sobre cintas móviles, en espesores entre 5 a 10 cm.

Los rayos gamma son emitidos en todas las direcciones, son muy penetrantes, su emisión es constante y proceden de fuentes radiactivas.

Una planta de Co<sup>60</sup> consta básicamente de:

- ↑ Sala de irradiación.
- ↑ Piscina de almacenamiento.
- ↑ Sistema transportador.
- ↑ Consola de control.
- ↑ Depósitos que separan material irradiado del sin irradiar.

La sala de irradiación es una cámara central de paredes de hormigón gruesas con protección de plomo y puertas diseñadas especialmente para impedir la liberación de la radiación, los dispositivos de interbloqueo y alarma impiden que la fuente de radiación se eleve mientras las puertas no se encuentren completamente cerradas.

La piscina de almacenamiento es el lugar donde se encuentran las fuentes radiactivas de Co<sup>60</sup> mientras no se está tratando nada. El agua actúa de blindaje contra la energía radiactiva cuando los operadores tienen que entrar a la sala.

El sistema transportador desplaza automáticamente los alimentos dentro y fuera de la cámara de irradiación, los productos pasan a una velocidad controlada con precisión para absorber la cantidad de energía necesaria para el tratamiento.

Desde la consola de control, operadores capacitados controlan electrónicamente la fuente de radiación y el tratamiento de los alimentos. Después del trata-

miento pueden manipularse inmediatamente.

Todas las instalaciones de irradiación, ya sean, plantas de Co<sup>60</sup> ó aceleradores de electrones deben tener una licencia y son inspeccionadas periódicamente por organismos gubernamentales correspondientes. La seguridad de los operadores depende de procedimientos de operación estrictos y, además, de una adecuada capacitación. (Ver Art. 174 del C.A.A. en el *Anexo A*).

### **Radapertización, radicación y radurización de alimentos**

En el año 1964 una agrupación internacional de microbiólogos propuso la siguiente terminología para el tratamiento por radiación de los alimentos:

**Radapertización:** Equivalente a **esterilización por radiación o a** “esterilidad comercial”, tal como ésta se entiende en la industria de conservas enlatadas. Las dosis típicas de irradiación para conseguir este tratamiento son de 30 a 40 KGy.

**Radicación:** Se refiere a la reducción del número de microorganismos **patógenos viables específicos**, exceptuados los virus, de forma que no se detectan ninguno por cualquier método convencional. Las dosis típicas de irradiación para conseguir este tratamiento son de 2,5 a 10 KGy.

**Radurización:** Se refiere al aumento de la calidad de conservación de un alimento que por medio de radiación, se consigue una considerable reducción del número de microorganismos **alterantes viables específicos**. Las dosis típicas de irradiación para conseguir este tratamiento son de 0,75 a 2.5 KGy.

El término **picoirradiado** se emplea para designar a todo alimento que ha sido

tratado con una dosis muy baja de energía ionizante.

**Radapertizacion**

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 del *clostridium botulinum* tiene un interés evidente. Su resistencia aumenta conforme disminuye la temperatura de irradiación y viceversa. Se

ha señalado que las esporas del tipo E son las más sensibles frente a los efectos de la radiación, su **valor D\*** oscila entre 0.12 a 0.17 Mrad. Las esporas de los tipos A y B tienen valores D de 0.279 y 0.238 Mrad respectivamente.

Los valores D de radiación también sufren variaciones de acuerdo al tipo de alimento, se realizaron experiencias inoculando cuatro cepas de *clostridium botulinum* en tres productos alimenticios, y se pudo observar que cada cepa mostró un grado de resistencia distinto en cada tipo de producto.

Tabla I - Efecto de la temperatura de irradiación en los valores D correspondientes a 2 niveles de contaminación por la cepa 33A de *C. botulinum* en carne picada de vaca precocida

	Valor D	En Mrad
Temperatura en °C	Aprox. 5 - 10 <sup>6</sup> esporas / lata	Aprox. 2 - 10 <sup>8</sup> 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

\* Valor D = Reducción de 1 ciclo logarítmico

Tabla II - Variaciones en los Valores D de radiación de correspondiente a cepas de *C. botulinum* a 30°C en tres productos cárnicos

		Valor D	En Mrad
Cepa número	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

A continuación se indican las Dosis Mínimas de Radiación (MRD) expresadas en KGy para la radapetización de nueve productos derivados de la carne y pescado. Con la excepción del tocino entreverado (que se irradió a temperatura ambiente), todos ellos fueron tratados a  $-30^{\circ}\text{C} +10$ :

Tocino entreverado	23
Camarones	37
Carne de vaca	47
Pastelillos de bacalao	32
Pollo	45
Cecina de vaca	25
Jamón	37
Salchichas de cerdo	24 -27
Carne de cerdo	51

Para conseguir tratamientos de **12 D\*** en productos cárnicos a la temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$  aprox. 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
Cecina de vaca /	
Salchichas de cerdo	25.5 - 26.9

El uso de un tratamiento de radiación de 12 D para destruir los microorganismos de *Clostridium botulinum* en productos cárnicos daría por resultado la supervivencia de **partículas víricas** a no ser que se hubieran destruido previamente por otros métodos, por ej. calentamiento.

Las **enzimas** también son muy resistentes a la radiación, las dosis de 20 a 60 KGy sólo destruyen el 75% de la actividad proteolítica de la carne. Sin embargo si se combina el blanqueo a  $65^{\circ}$  ó  $70^{\circ}\text{C}$  con la radiación, dosis de 45 a 52 KGy destruyeron como mínimo, el 95% de la actividad enzimática.

Tabla III — Valores D de radiación señalados por diversos autores

Microorganismos / sustancia	Valor D en 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>Clostridium botulinum</i> , tipo E Beluga	0.8
Esporas de <i>C. botulinum</i> 62A	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

\* 12 D = Reducción de 12 ciclos logarítmicos

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>Lysteria monocitogenes</i>	0.42-0.55
<i>L. monocitogenes</i> (media de 7 cepas)	0.35
<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>Salmonella sp</i>	0.13
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.16
Enterotoxina A de <i>S. aureus</i> en pasta de carne	61.18
<i>Yersinia enterocolitica</i> , carne de vaca a 25°C	0.195
<i>Y. enterocolitica</i> , carne picada de vaca a 30°C	0.388
<b>Hongos</b>	
Esporas de <i>A. flavus</i> (media)	0.66
<i>A. flavus</i>	0.055-0.06
<i>A. niger</i>	0.042
<i>Penicillium citrinum</i> , NRRL 5452 (media)	0.88
<i>Penicillium sp</i>	0.42
<b>Virus</b>	
Adenovirus (4 cepas)	4.1-4.9
Coxsackievirus (7cepas)	4.1-5.0
Echovirus (8cepas)	4.4-5.1
Herpes simplex	4.3
Poliovirus (6 cepas)	4.1-5.4

### Radidación

Se ha demostrado que la irradiación a dosis de 2 a 5 KGy es eficaz para destruir microorganismos patógenos asporógenos y de naturaleza no vírica, y no tiene riesgo alguno para la salud. La radidación es eficaz en alimentos preenvasados, eliminando de este modo la contaminación cruzada.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha autorizado dosis de radiación de incluso 7 KGy por *ser absolutamente inocuas para el consumo humano*.

### Radurización

Mediante la radurización con dosis de 1 a 4 KGy se puede prolongar del doble al séxtuplo la duración de la vida útil de los alimentos marinos, de las hortalizas y de las frutas. 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.

Se ha demostrado que los cocobacilos gramnegativos pertenecientes a los



géneros *Moraxella* y *Acinetobacter* poseen un grado de resistencia mayor que el de todas las bacterias gramnegativas, siendo las especies de *Moraxella* más resistentes que las especies de *Acinetobacter*. Se comprobó que la sensibilidad a la radiación disminuía conforme descendía la temperatura de irradiación, lo mismo que en el caso de las endoesporas.

La radurización de las frutas con dosis de 2 a 3 KGy prolonga su vida útil 14 días como mínimo. En general la prolongación de la vida útil en las frutas, no es tan importante como lo es en las carnes y alimentos marinos. Los huevos y las larvas de los insectos se pueden destruir con 1 KGy y los cisticercos de las tenias del cerdo (*Taenia solium*) y de los bovinos (*Taenia saginata*) se pueden destruir con dosis incluso menores.

### Efectos de la radiación en los microorganismos

El tratamiento previo de los microorganismos con ultrasonido los sensibiliza a la radiación. Se supone que los microorganismos irradiados son destruidos como consecuencia del paso de una partícula ionizante, o cuanto de energía, a través de una zona sensible de la célula, o muy cerca de dicha zona, que produce un impacto directo sobre el citado blanco, como consecuencia de la ionización de esta zona sensible y con la posterior muerte de la célula microbiana. (Teoría denominada **Teoría del Blanco**).

Se supone también que gran parte del efecto germicida es consecuencia de la ionización de zonas circundantes, sobre todo del agua, que da lugar a radicales libres, algunos de los cuales son oxidantes o reductores, y por lo tanto favorecen la destrucción de los microorganismos. La irradiación de alimentos también puede originar

mutaciones genéticas en los microorganismos existentes en ellos.

La eficacia bactericida de una determinada dosis de radiación depende de los siguientes factores:

1) *Tipo y especie de microorganismo*: Por lo general las bacterias grampositivas son más resistentes que las bacterias gramnegativas y las bacterias esporógenas son más resistentes que las asporógenas. Entre las esporógenas, parece ser que el *Bacillus larvae* posee un grado de resistencia mayor que el de otras bacterias aerobias esporógenas. Las esporas del *Clostridium botulinum* tipo A se muestran como las más resistentes de los Clostridios. Prescindiendo de las siete especies extraordinariamente resistentes de los géneros de *Moraxella* y *Acinetobacter* (ver **Resistencia a la radiación de los microorganismos**), la cepa R53 de *Enterococcus faecium*, los micrococos 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 otras bacterias gramnegativas tienen sensibilidad intermedia.

Con las excepciones de las endoesporas y algunas especies, la resistencia a las radiaciones ionizantes generalmente está asociada con su resistencia a los tratamientos térmicos convencionales o termoresistencia. (ver Tabla IV ).

2) *Número de microorganismos o esporas iniciales*: A mayor número de microorganismos existentes inicialmente, tanto menor será la eficacia bactericida de una determinada dosis de radiación.

3) *Composición del alimento*: **Por regla general, los microorganismos** son más sensibles en soluciones tampón que cuando se

encuentran en medios que contienen proteínas, por ej. el valor de la dosis letal del *Clostridium perfringens* en tampón de fosfato es de 0.23 KGy, mientras que en caldo con carne cocida el valor es de 3 KGy. Las proteínas ejercen un efecto protector frente a las radiaciones, como también a algunos agentes químicos antimicrobianos y al calor. Es posible que algunos constituyentes de los alimentos como la catalasa y sustancias reductoras (nitritos, sulfitos, y compuestos sulfhidrúlicos) ejerzan una acción protectora sobre los microorganismos. Las sustancias químicas que se combinan con los grupos SH actuarían como sensibilizadoras.

4) *Existencia 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 de oxígeno en una suspensión de células de *Escherichia coli* aumentó su resistencia tres veces.

La existencia de Oxígeno libre es variable para cada tipo de microorganismo, desde la no producción de efecto alguno hasta la sensibilización del mismo.

En ausencia de Oxígeno, (en vacío o en atmósfera de nitrógeno) son menos frecuentes las “reacciones secundarias” ( ver: efectos de la radiación en los alimentos).

5) *Estado físico del alimento durante la irradiación*: Tanto la temperatura como la humedad del alimento ejercen distintas influencias para los diferentes tipos de microorganismos. En general, la resistencia de las células desecadas es mayor que la de las células que contengan humedad, es muy probable que sea consecuencia de la radiólisis del agua por las radiaciones ionizantes.

Se ha observado que la resistencia a la radiación de las células congeladas es

mayor que las que no lo están. Cuando se irradió a  $-196^{\circ}\text{C}$  carne picada de vaca se comprobó que los efectos de la radiación gamma disminuían en un 47% en comparación con los efectos conseguidos a la temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ .

6) *Factores propios de los microorganismos*: La edad, la temperatura de crecimiento y la de esporulación, y el estado (células vegetativas o esporas) influyen en el grado de sensibilidad.

Las bacterias suelen ser más resistentes durante la **fase lag** inmediatamente antes de la división celular activa, se vuelven más sensibles a la radiación conforme entran en la **fase logarítmica** y según transcurre ésta, alcanzando la mínima al final de la misma.

Al parecer, la clase de radiación utilizada, y dentro de ciertos límites, el pH del alimento, influyen poco en la dosis necesaria para destruir los microorganismos.

Tabla IV: Las cifras de esta tabla varían de acuerdo a los factores citados en el párrafo anterior. No obstante hay que tener en cuenta lo siguiente:

- ↑ Las personas son más sensibles a las radiaciones que los microorganismos.
- ↑ Las esporas bacterianas son mucho más resistentes que las células vegetativas,
- ↑ En general las bacterias gramnegativas son menos resistentes que las grampositivas.

La resistencia de las levaduras y la de los mohos es muy variable aunque algunos de éstos microorganismos son más resistentes que la mayoría de las bacterias. *Candida crusei* por ej. tiene una resistencia equiparable a la de algunas endosporas bacterianas.

Tabla IV — Dosis letales aproximadas de radiación ionizante expresada en Kilograys

Microorganismo	Dosis letal aprox.	Microorganismo	Dosis letal aprox.
Personas	0.0056-0.0075	Bacterias (cél. de sapófitas)	
Insectos	22-93	Gramnegativas	
Virus	10-40	<i>Escherichia coli</i>	1.0-2.3
Levaduras (fermentativas)	4-9	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1.6-2.3
<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	5	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1.2-2.3
<i>Torula cremoris</i>	4.7	<i>Enterobacter aerogenes</i>	1.4-1.8
Levaduras (película)	3.7-18	Grampositivas	
<i>Hansenula sp.</i>	4.7	<i>Lactobacillus spp.</i>	0.23-0.38
<i>Candida krusei</i>	11.6	<i>Streptococcus faecalis</i>	1.7-8.8
Mohos (con esporas)	1.3-11	<i>Leuconostoc dextranicum*</i>	0.9
<i>Penicillium spp.</i>	1.4-2.5	<i>Sarcina lutea*</i>	3.7
<i>Aspergillus spp.</i>	1.4-3.7	Esporas bacterianas	3.1-37
<i>Rhizopus spp.</i>	10	<i>Bacillus subtilis</i>	12-18
<i>Fusarium spp.</i>	2.5	<i>Bacillus coagulans</i>	10
Bacterias (células de patógenas)		<i>Clostridium botulinum (A)</i>	19-37
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	1.4	<i>Clostridium botulinum (E)</i>	15-18
<i>Staphylococcus aureus</i>	1.4-7	<i>Clostridium perfringens</i>	3.1
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	4.2	<i>Bacillus stearothermophilus</i>	10-17
<i>Salmonella spp.</i>	3.7-4.8	Anaerobio de putrefac. 3679	23-50

### Resistencia a la radiación de los microorganismos

Las bacterias más sensibles a la radiación ionizante son los 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. Lo que hace que un microorganismo sea más sensible o más resistente que otro no solo constituye un tema de interés biológico fundamental, sino que también tiene interés en la aplicación de la irradiación a la conservación de los alimentos. Una mejor comprensión de

los mecanismos de resistencia de los microorganismos puede llevar a procedimientos que aumenten su sensibilidad a la radiación y, consiguientemente, al empleo de menores dosis en la aplicación de la conservación de alimentos.

Las más resistentes de todas las bacterias asporógenas conocidas son cuatro especies del género *Deinococcus* y una de cada uno de los géneros *Deinobacter*, *Rubrobacter* y *Acinetobacter*.

- 1- *Deinococcus radiodurans*.
- 2- *Deinococcus radiophilus*.
- 3- *Deinococcus proteolyticus*.
- 4- *Deinococcus radiopugnans*.
- 5- *Deinobacter grandis*.
- 6- *Acinetobacter radioresistens*.
- 7- *Rubrobacter radiotolerans*.

Estas siete especies son aerobias, catalasa-positivas y generalmente inactivas en los sustratos de las pruebas bioquímicas. Los *Deinococcus* poseen diversos carotenoides y su membrana plasmática aislada tiene un color rojo vivo, algunas cepas son capaces de resistir 15 KGy de radiación, el *Deinococcus radiophilus* es la especie más radioresistente.

No se sabe por qué razón los microorganismos son tan resistentes a las radiaciones. Es posible que la complicada envoltura celular sea un factor de radioresistencia, 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 radioresistencia, excepto en el *Deinococcus radiophilus*. La radiólisis del agua lleva a la formación de radicales libres y peróxidos, y los microorganismos sensibles a las radiaciones 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 lo hacen en la excepcional radioresistencia de las bacterias.

Parece ser que los mecanismos eficaces de reparación del ácido nucleico son una causa de la excepcional radioresistencia. En *Deinococcus radiodurans* se ha mostrado la reparación enzimática de las lesiones producidas por las radiaciones. Asimismo, se ha demostrado que éste posee un eficaz sistema de reparación de las excisiones.

### **Tratamiento de los alimentos antes de su irradiación**

Antes de ser expuestos a las radiaciones ionizantes, se deben llevar a cabo varias fases de tratamiento similares a las que se llevan a cabo cuando se trata de ali-

mentos que van a ser congelados o enlatados.

**Selección de los alimentos:** Se deben seleccionar cuidadosamente teniendo en cuenta su frescura y su buena calidad general. En especial, no se deben seleccionar los que ya han empezado a deteriorarse.

**Limpieza de los alimentos:** Deben eliminarse todos los residuos y suciedades visibles con lo cual se reduce el número de microorganismos iniciales.

**Envasado:** Los alimentos a irradiar se deben introducir en envases que los protejan de la contaminación una vez que han sido irradiados. Se ha observado que los frascos de vidrio transparentes experimentan cambios de color cuando se exponen a dosis de radiación del orden de los 10 KGy que no son deseables.

**Blanqueo o desactivación enzimática:** Las dosis de radiación esterilizantes no son suficientes para destruir los sistemas enzimáticos del alimento, por lo que deben ser tratados térmicamente a fin de que no se produzcan cambios indeseables una vez irradiados.

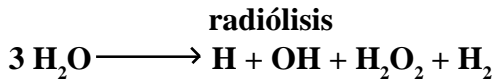
### **Efectos de la radiación en los alimentos**

Se ha comprobado que el empleo de dosis de radiación suficientemente elevadas para conseguir la esterilización de los alimentos, produce en muchos de ellos "reacciones secundarias", o modificaciones secundarias que originan colores, olores, sabores, palatabilidades e incluso propiedades físicas indeseables.

Los cambios indeseables pueden ser causados directamente por la radiación o indirectamente como consecuencia de las reacciones que tienen lugar en los mismos

luego de la irradiación.

Cuando es irradiada, el agua se descompone por la radiación (radiólisis), de la siguiente manera:



Además, a lo largo de la trayectoria del electrón primario se forman radicales libres, y conforme difunden, reaccionan entre sí. Algunos de los productos formados a lo largo del trayecto se desprenden y son capaces de reaccionar con moléculas de solutos. Irradiando en anaerobiosis, los sabores y olores anormales disminuyen debido a la falta de oxígeno para formar peróxidos.

Una de las maneras de reducir al mínimo los sabores anormales es irradiarlos a temperaturas inferiores a las de la congelación, este método consiste en reducir o detener la radiólisis y sus reacciones consiguientes.

Más que el agua, parece ser que las proteínas y otros compuestos nitrogenados son las sustancias más sensibles a las radiaciones en los alimentos. Los productos resultantes de los aminoácidos, péptidos y proteínas, dependen de las dosis de radiación, de la temperatura, de la cantidad de oxígeno, de la humedad presente y otros factores. Entre los productos formados están:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , hidrógeno, amidas y carbonilos. Con respecto a los aminoácidos, los aromáticos tienden a ser los más sensibles y experimentan modificaciones en las estructuras de los anillos. Los más sensibles a la radiación son: metionina, cisteína, histidina, arginina y tirosina. El más sensible a la irradiación de haces de electrones es la cistina. Se ha señalado que los aminoácidos son más estables frente a la irradiación con rayos gamma que frente a la irradiación con haces de electrones.

La irradiación de lípidos y grasas da

como resultado la producción de carbonilos y otros productos de oxidación, tales como peróxidos, en especial si la radiación y posterior almacenaje tienen lugar en presencia de oxígeno. El efecto organoléptico más notable de la irradiación de lípidos en presencia de aire es la rancidez.

Se ha observado que las dosis elevadas de irradiación llevan a la producción de los denominados “olores de irradiación” en determinados alimentos, en especial, en las carnes. Se investigaron los componentes volátiles de la carne picada vacuna cruda irradiada con 20 a 60 KGy a temperatura ambiente y se halló un gran número de compuestos olorosos. De los 45 o más de estos compuestos, había 17 que contenían azufre, 14 hidrocarburos, 9 carbonilos y 5 o más de naturaleza alcohólica. Cuanto mayor es la dosis de irradiación, mayor es el número de compuestos volátiles producidos. Algunos de estos compuestos también se producen en la carne de vaca picada no irradiada y cocida.

La carne irradiada con rayos catódicos o gamma también sufre una elevación del pH y destrucción del glutation.

Con respecto a las vitaminas del grupo B algunos investigadores comprobaron que, en las ostras, las dosis de irradiación comprendidas entre 2 a 6 KGy con  $\text{Co}^{60}$  destrúan parcialmente las siguientes vitaminas: tiamina ( $\text{B}_1$ ), niacina ( $\text{B}_3$ ), piridoxina ( $\text{B}_6$ ), biotina ( $\text{B}_7$ ) y cobalamina ( $\text{B}_{12}$ ).

También señalaron que en los alimentos irradiados, la rivo flavina ( $\text{B}_2$ ), el ácido pantoténico ( $\text{B}_3$ ) y el ácido fólico aumentaban, probablemente debido a la liberación de vitaminas ligadas.

Las vitaminas C, D, E y K disminuyen su concentración en la mayoría de los alimentos.

En frutas y hortalizas irradiadas se han observado algunos efectos perjudiciales como ser el ablandamiento debido a la

degradación de la pectina y de la celulosa (polisacáridos estructurales de las plantas). La síntesis de etileno en las manzanas es afectada por la radiación, por lo que no maduran con tanta rapidez como las manzanas testigo no irradiadas. En los limones verdes, por el contrario, la irradiación estimula la síntesis de etileno, por lo que maduran con mayor rapidez que los limones testigo no irradiados.

La principal repercusión sobre la sa-

lubridad de los alimentos es la destrucción de las vitaminas. No obstante, el valor nutritivo global de un alimento irradiado sería tan bueno como el de un alimento tratado por métodos convencionales con el fin de conseguir la misma estabilidad de almacén.

Tanto si se emplean haces de electrones de energía inferior a 11 MeV, como si se emplearan rayos gamma procedentes del  $Co^{60}$ , no existen pruebas de que en los alimentos se origine radiactividad.

Tabla V — Métodos para reducir las “reacciones secundarias” en los alimentos expuestos a radiaciones ionizantes.

Método	Razonamiento
Reducción de la temperatura	Inmovilización de radicales libres
Reducción de la tensión de oxígeno	Reducción del número de radicales a moléculas activadas
Adición de sustancias eliminadoras de radicales libres	Competición por radicales libres de las sustancias eliminadoras
Destilación acompañada de radiación	Eliminación de precursores de sabores y olores desagradables
Reducción de la dosis	Obvio

Fuente : Goldblith

### Estabilidad de almacén de los alimentos irradiados

Cabe suponer que los alimentos sometidos a las dosis de radiación ionizante correspondientes a la radapertización tienen la misma estabilidad comercial que los alimentos esterilizados por el calor que se venden en el comercio. No obstante, entre los alimentos tratados mediante estos dos métodos existen dos diferencias que afectan a la estabilidad de almacén: la radapertización

no destruye las enzimas propios de los alimentos, las cuales siguen actuando, y es posible suponer que, después de la irradiación, se presenten algunas modificaciones de los alimentos. Se percibió un ligero olor de irradiación, pero no fue considerado molesto. Las carnes tenían un sabor amargo que se supuso era originado por la cristalización del aminoácido tirosina.

Empleando 45 KGy en pollos, carne de cerdo fresca y asada y tocino, alimentos

en los que se habían inactivado las enzimas se comprobó que eran agradables después de un almacenamiento de incluso 24 meses. Algunos investigadores definieron al aspecto de carnes como excelente después de 12 años de haber permanecido almacenadas a temperatura de nevera.

Los alimentos sometidos a radurización, fundamentalmente son alterados por la flora superviviente en el caso de que se almacenen a temperaturas apropiadas al crecimiento de los microorganismos en cuestión. La flora que normalmente altera los alimentos marinos es tan sensible a las radiaciones ionizantes, que el 99% de la flora total de estos alimentos generalmente es destruida por dosis del orden de 2,5 KGy. La alteración definitiva de los alimentos radurizados es heredar de los escasos microorganismos que sobreviven al tratamiento por radiación.

## Legislación

Actualmente, la legislación de 39 países autoriza el consumo de diversos alimentos irradiados en el mundo con alrededor de 70 plantas de irradiación autorizadas. Estas instalaciones son en su gran mayoría de  $Co^{60}$  y el resto, aceleradores de electrones (países que carecen de reservas de energía atómica).

Los principales países que aplican la tecnología en volúmenes decrecientes son: Ucrania, China, EE.UU., Sudáfrica, Holanda, Japón, Hungría, Bélgica, Indonesia, Francia, México, Canadá, Brasil, Croacia, India, República Checa, Dinamarca, Finlandia, Israel, Irán, Inglaterra, Corea, Noruega, Tailandia, Argentina y Chile.

El Código Alimentario Argentino (CAA), en su Artículo 174, legisla sobre los aspectos generales. En otros artículos autoriza la irradiación de papa (Art.827 bis), cebolla (Art.844 bis) y ajo (Art. 841 bis) para inhibir la brotación; de frutilla para prolongar la vida útil (Art.884 bis); de champignon (Art. 1249 bis) y espárrago (Art.845 bis) para retardar la senescencia; y de especias frutas y vegetales deshidratados para reducir la contaminación bacteriana (Art.1201 bis) y (Art.1401 bis).

La Food and Drug Administration (FDA) de los EE.UU. ha autorizado la irradiación de al menos 20 materiales diferentes utilizados en el envasado de alimentos a dosis de 10 a 60 KGy.

La inhibición de los grillones y la desinfectación contra insectos siguen siendo las aplicaciones directas de la irradiación de alimentos más universalmente utilizadas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha concedido autorización para autorizar dosis de radiación de incluso 7 KGy (0,7 Mrad) por ser absolutamente inocuas para la salud.

En los EE.UU. uno de los obstáculos para conseguir la autorización de la irradiación a mayor escala es la forma de definirla. Se considera un aditivo en lugar de un tratamiento, como así es. Esto significa que los alimentos irradiados deben ser etiquetados como tales. No obstante el renovado interés por la irradiación de alimentos y las propuestas de reglamentación relativas a su empleo, probablemente darán como resultado que se amplíe el campo de aplicación de este tratamiento.

Cabe recordar que en países que aún no tienen autorizado el proceso, como Alemania, éste es permitido para proveer alimentos a pacientes inmunológicamente deprimidos.

**Aplicaciones**

A continuación se describen las aplicaciones de la irradiación de alimentos permitida en varios países procedentes de dos fuentes distintas:

Tabla VI — Productos alimenticios cuya irradiación esta permitida en varios países y por la OMS.

Productos	Objetivo	Dosis en KGy	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 grillones	2.5 máx.	1
Trigo, harina de trigo	Desinfección de insectos	0.2-0.75	4
Frutas desecadas	Desinfección de insectos	1	2
Semillas de cacao	Desinfección de insectos	0.7	1
Concentrados de alim. secos	Desinfección de insectos	0.7-1	1
Carne de ave fresca	Radurización <sup>b</sup>	7 máx.	2
Bacalao y pescado rojo	Radurización	2-2.2	1
Especias / Condimentos	Radurización	8-10	1
Carnes semiconservadas	Radurización	6-8	1
Frutas frescas <sup>c</sup>	Radurización	2.5	6
Espárragos	Radurización	2	1
Carnes crudas	Radurización	6-8	1
Filetes de bacalao	Radurización	1.5 máx.	1
Canales de aves evisceradas	Radurización	3-6	2
Camarones	Radurización	0.5-1	1
Prod. cárnicos culinarios	Radurización	8	1
Comidas congeladas	Radapertización	25 mín.	2
Alimentos enlatados	Radapertización	25 mín.	1

Fuente: Urbain

<sup>a</sup> incluyendo las recomendaciones de la OMS

<sup>b</sup> Para *Salmonellas*

<sup>c</sup> incluye tomates, melocotones, fresas, etc



Tabla VII

<b>Tipo de alimento</b>	<b>Dosis en KGy</b>	<b>Resultado del tratamiento</b>
Carne, aves, pescado, marisco, algunas hortalizas, alimentos preparados y cocidos al horno.	20-70	Esterilización. Los alimentos tratados se pueden almacenar a temperatura ambiente sin que se alteren. Los alimentos tratados son inocuos para enfermos hospitalizados que requieren dietas estériles.
Especias y otros condimentos	8-30	Reduce el número de microorganismos e insectos. Sustituye a los agentes químicos que se utilizan con esta finalidad.
Carne, aves, pescado	1-10	Retarda su alteración por reducir el número de microorganismos en el alimento fresco refrigerado Destruye algunos tipos de bacterias causantes de intoxicaciones alimentarias.
Fresas y otras frutas	1-4	Prolonga la vida comercial por retardar el crecimiento de los mohos
Granos, frutas, hortalizas y otros alimentados infestados por insectos	0.1-1	Mata a los insectos o impide que se reproduzcan. Podría sustituir en parte a los fumigantes utilizados con esa finalidad.
Plátanos, mangos, aguacates, papayas, guayabas, y algunas otras frutas no cítricas	0.25-0.35	Retarda su maduración
Patatas, cebollas, ajos	0.05-0.15	Impide que grillen
Carne de cerdo	0.08-0.15	Inactiva las triquinias
Granos, hortalizas deshidratadas, otros alimentos	Varias Dosis	Modificaciones físicas y químicas beneficiosas para los alimentos.

*Fuente: ASCH (1985)*

### **Comercialización**

La comercialización masiva de alimentos irradiados ocurrirá probablemente cuando se perciban ventajas comerciales en circunstancias de que ningún otro método sea conveniente. Tal es el caso de las especias, el ingrediente alimentario cuya irradiación se aplica ampliamente en la mayoría

de los países que emplean esta tecnología. Su contaminación bacteriana no se puede reducir por calor porque se provocarían pérdidas de aroma y sabor, ni tampoco por fumigación con óxido de etileno ya que las especias retienen sustancias tóxicas del gas.

Algunos hechos recientes influyen sobre la industria alimentaria para buscar alternativas a los métodos convencionales de

conservación de alimentos. Estos son:

- ↑ Cambios en los hábitos de los consumidores.
- ↑ Aumento de las exigencias en la calidad de los productos.
- ↑ Mayores certezas de los efectos negativos del uso de sustancias químicas.

En la actualidad se comercializan alrededor de 500.000 toneladas por año de alimentos irradiados en el mundo, lo cual representa una pequeña cantidad en comparación con los volúmenes de alimentos totales.

Argentina irradia para el mercado local especias que se introducen como aditivos en otros productos, como por ej. chacinados. En este caso, y según la legislación vigente no es necesario que en el envase del producto final figure la condición de irradiada de la especie ya que participa en proporción menor al 10 % (Art. 174, Inciso 4).

Para exportación se han realizado irradiaciones de diversos productos en las dos instalaciones que existen en el país:

- ↑ Centro Atómico de Ezeiza, que funciona desde 1970.
- ↑ IONICS, en la localidad de Pacheco, desde 1989.

Los productos que se tratan son: cacao en polvo, suero bovino desecado, huevo desecado o congelado, hígado desecado, especias, vegetales deshidratados, extracto de carne, polen, harina de soja, etc.

Del volumen total irradiado en el país, que es de 500 toneladas por año aproximadamente, el 70 % se destina para el mercado local, y el 30 % restante se exporta a diversos países. En la institución privada de IONICS se realiza el 90 % de las irradiaciones comerciales, mientras que en el Centro Atómico Ezeiza el 10 %.

## Costos

Cualquier tipo de tratamiento que se realice en los alimentos va a implicar un aumento en los costos del mismo. En el caso de la irradiación, éste se estima en centavos por kilo, lo cual es competitivo con el de otros tratamientos, y en algunos casos, resulta aún menos costoso.

La construcción de una instalación de irradiación de alimentos involucra inversiones que oscilan entre uno y tres millones de pesos, cantidades comparables a la instalación de otras tecnologías para tratamiento de alimentos.

## Investigación y desarrollo en la Argentina

En la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), el tema se estudia desde la década del 60, con productos como trigo, papa, pescados diversos, frutillas, manzanas, jugos concentrados, frutas secas, especias y condimentos, pollo, huevo desecado, suero bovino desecado, enzimas, champiñones, choclo, espárragos, pomelo, aditivos e ingredientes alimentarios.

Otras instituciones que también realizan estudios son:

- La Universidad Nacional del Sur, en Bahía Blanca, con productos como cebolla, ajo, merluza, frutilla.
- La Universidad Nacional del Comahue, en Neuquén, con manzanas, frambuesas, jugos concentrados.
- La Universidad Católica de San Juan, con uvas, pasas de uva.
- La Universidad de Mendoza con truchas, conejos, champiñones.
- El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en Castelar, con car-

nes bovinas para la prolongación de su conservación y la eliminación de virus aftosa.

En el Centro Atómico de Ezeiza, donde funciona desde 1970 una instalación semi-industrial que irradia con rayos gamma de  $\text{Co}^{60}$ , se realiza asesoramiento; servicio de irradiación (tanto para la industria como para promoción de pruebas de transporte y mercado); desarrollos de técnicas de irradiación y posterior conservación de alimentos por iniciativa propia o a pedido de potenciales usuarios o investigadores; se realizan cálculos referidos al diseño de plantas de irradiación comerciales para aplicaciones definidas (las fuentes de  $\text{Co}^{60}$  por utilizarse son de producción nacional); se analizan los beneficios comparativos de la aplicación comercial de la tecnología de irradiación *versus* métodos convencionales de conservación.

### Radiación ultravioleta

Es la más empleada en la industria alimentaria, es una radiación no ionizante. La radiación con longitudes de onda próximas a los 260 nm es absorbida en gran cantidad por las purinas y las pirimidinas y, por lo tanto, es la más bactericida. La radiación ultravioleta de longitud de onda de 200 nm es absorbida en gran cantidad por el Oxígeno, puede dar lugar a la producción de ozono, y carece de eficacia frente a los microorganismos.

La fuente usual de radiación ultravioleta son las lámparas de cuarzo con vapor de mercurio o lámparas de mercurio a baja presión, las cuales emiten radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda es de 254 nm.

### Factores que influyen en su eficacia

Debe tenerse en cuenta que sólo son eficaces los rayos directos, a no ser de que pro-

cedan de reflectores especiales, pero incluso en este caso su eficacia disminuye.

1) **Tiempo:** Cuanto mayor es el tiempo de exposición a una determinada dosis, tanto más eficaz es el tratamiento.

2) **Intensidad:** La intensidad de los rayos que llegan a un determinado objeto dependerá de la potencia de la lámpara, de la distancia que exista entre la lámpara y el objeto, y del tipo y cantidad de partículas existentes en el recorrido de los rayos.

↑ Al aumentar la potencia de la lámpara, aumenta la intensidad de los rayos. La intensidad se expresa en microwatios por centímetro cuadrado ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ), de acuerdo a esto la *cantidad o dosis de radiación absorbida por un organismo o un alimento es el producto del tiempo por la intensidad.*

↑ La intensidad es inversamente proporcional a la distancia. La mayoría de las pruebas de eficacia se lleva a cabo a una distancia de 12 pulgadas (30,48cm).

↑ La existencia de polvo ambiental, o sobre la lámpara disminuye su eficacia, de igual modo que la humedad relativa ambiental superior al 80% (valores de humedad inferiores al 60% tienen poca influencia en el poder de penetración de los rayos a través del aire).

3) **Penetración:** La constitución del objeto o material que es irradiado, influye de forma muy importante en la eficacia del tratamiento. La penetración de los rayos ultravioleta es reducida por las sales minerales disueltas y la turbiedad, incluso una débil capa de sustancias grasientas o el agua pura los intercepta. No penetran en objetos opacos, por consiguiente los rayos UV sólo afectan la superficie externa de los alimentos que se irradian y no penetran en los microorganismos presentes en el interior del

mismo. Sin embargo, las lámparas sirven para disminuir el número de microorganismos viables existentes en el aire que rodea los alimentos.

**Actividad sobre los microorganismos**

Cada especie microbiana tiene un grado de resistencia característico a la radiación ultravioleta. Este es función de la fase de crecimiento y del estado fisiológico de las células microbianas. Si se compara la resistencia de las células vegetativas de unas especies bacterianas con las de otras, la exposición a los rayos ultravioleta destruye las células vegetativas de algunas especies en un tiempo que es más de cinco veces superior al necesario para que las de otras especies sean destruidas, aunque, en general, el

tiempo de exposición que las destruye no varía para cada una de las distintas especies.

La formación de cápsula y el agrupamiento de bacterias aumenta su resistencia a la radiación UV. Para destruir las esporas microbianas, es necesaria una exposición de una duración de dos a cinco veces mayor que la necesaria para destruir las células vegetativas correspondientes.

En general las levaduras están dotadas de una resistencia de dos a cinco veces mayor que las bacterias, aunque algunas se destruyen fácilmente. La resistencia de los mohos es de diez a cincuenta veces mayor que la de las bacterias, los mohos pigmentados a su vez, son más resistentes que los no pigmentados, y las esporas más resistentes que el micelio.

Tabla VIII — Dosis de rayos UV necesarias para destruir determinados grupos de microorganismos

<i>Microorganismo</i>	<i>Dosis necesaria para la reducción de 1 ciclo logarítmico o un valor D (μw seg -10<sup>3</sup>)</i>
<b>Bacterias Gramnegativas</b>	
Anaerobias Facultativas	8.0 - 6.4
Aerobias	3.0 - 5.5
Fotótrofas	5.0 - 6.0
<b>Bacterias Grampositivas</b>	
<i>Bacillus</i>	5.0 - 8.0
Esporas de <i>Bacillus</i>	8.0 - 10.0
<i>Micrococcus</i>	6.0 - 20.0
<i>Staphilococcus</i>	2.2 - 5.0
<b>Levaduras</b>	3.0 - 10.0
<b>Mohos</b>	10.0 - 200.0

Fuente: Resumido de Ingram y Roberts (1980)

## **Aplicaciones en la industria alimentaria**

Los ejemplos de casos en los que el empleo de radiación ultravioleta ha dado buenos resultados incluyen el tratamiento del agua destinada a la fabricación de bebidas; conservación de carnes (la conservación mediante radiación UV y refrigeración puede permitir el empleo de una humedad o temperatura de almacenamiento más elevadas que la que es posible emplear cuando se almacena solo bajo refrigeración); tratamiento de cuchillas que se emplean para cortar el pan en rebanadas; el tratamiento de las tinas de encurtido, de vinagre para impedir el crecimiento de levaduras formadoras de película; esterilización de cubiertos; destrucción de esporas existentes en la superficie de los cristales de azúcar y en los jarabes; el tratamiento de los quesos durante su almacenamiento y envasado; el tratamiento de paredes y estanterías para impedir el crecimiento de mohos; el tratamiento del aire de los locales en los que se almacena o se someten a tratamiento los alimentos, etc.

## **Tratamiento con microondas**

Tanto el calentamiento como el tratamiento de los alimentos con microondas están cada vez más en uso, y sobre todo a nivel del consumidor. Las microondas son ondas electromagnéticas comprendidas entre las infrarrojas y las ondas de radio en el espectro electromagnético.

La mayoría de las investigaciones realizadas en alimentos se han llevado a cabo en dos frecuencias específicas, a 915 megaciclos y a 2450 megaciclos. La energía calorífica, o calor, que producen al atravesar un alimento, es consecuencia de la oscilación extraordinariamente rápida de las moléculas del alimento al intentar orientarse con el campo electromagnético que se está originando y esta oscilación o rozamiento

de las moléculas entre sí, genera calor.

Es decir, cuando se colocan en un campo electromagnético alimentos eléctricamente neutros, las moléculas cargadas asimétricamente son impulsadas, primero en una dirección y después en otra, de este modo cada una de las moléculas 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 polos positivo y negativo, se crea la fricción intermolecular. A la frecuencia de las microondas de 915 megaciclos, las moléculas oscilan de una parte a otra 915 millones de veces por segundo.

En realidad, el efecto conservador de los microondas o el efecto bactericida que producen es función del calor que se genera, las microondas de por sí no dan lugar a ningún tipo de inactivación de los microorganismos del alimento, sino que es el calor que se genera por la excitación de sus moléculas el que genera su destrucción.

## **Conclusión**

Podemos ahora llegar a algunas conclusiones. La irradiación de alimentos es un proceso de conservación opcional de alimentos. Como tal posee ventajas con respecto a otros métodos de conservación tradicional como el calentamiento, congelamiento, agregado de productos químicos, etc. En Argentina se realizaron tres estudios de mercado para observar la respuesta de los consumidores frente a los productos irradiados, y se les informó de qué se trataba el método y de sus ventajas, y se evidenció que éstos reaccionaron muy bien, es decir, tuvieron una aceptación favorable comprando los productos en mucho menos tiempo que el esperado.

1) Para que sea exitosa la conservación de

- alimentos por irradiación se deben tener en cuenta ciertos parámetros, como ser: dosis de radiación aplicada; temperatura de irradiación y conservación; presencia o ausencia de oxígeno; tipo, especie y número de microorganismos; composición y estado físico del alimento; tipo de envases. así se logra evitar daños nutricionales y organolépticos en los productos.
- 2) Es posible combinar el tratamiento de irradiación con otros, por ejemplo, un leve calentamiento previo, con lo cual se consigue un efecto sinérgico entre ambos, disminuyendo la dosis de radiación a aplicar.
  - 3) La irradiación de alimentos libera al alimento de microorganismos patógenos, sin introducir sustancias extrañas, ni elevando la temperatura del mismo (Esterilización Fría), por lo que no se altera la calidad del producto. También se comprobó que no hay aumento en la resistencia de las radiaciones de los microorganismos.
  - 4) Las pérdidas nutricionales en el alimento son insignificantes dentro de los límites de radiaciones bajas (hasta 1 KGy). En el rango de dosis medias (1-10 KGy), puede haber pérdida de vitaminas sólo si no se excluye el oxígeno durante la irradiación y el almacenamiento. A altas dosis (10-50 KGy), las técnicas utilizadas para evitar que se modifiquen las características organolépticas (irradiación a bajas temperaturas [-20° C], exclusión de oxígeno) protegen también a los nutrientes, de manera que las pérdidas pueden ser aún menores que cuando se aplican dosis medias sin tomar estas precauciones.
  - 5) Con respecto a la generación de sustancias nocivas para la salud, se han realizado estudios sobre animales de experimentación que abarcan: toxicidad aguda y crónica, carcinogénesis, teratogénesis, mutagenicidad. Los resultados de estas investigaciones, llevadas a cabo durante casi 40 años, no han evidenciado la existencia de sustancias nocivas en los alimentos irradiados.
  - 6) La irradiación de alimentos es una alternativa frente al uso de sustancias químicas de toxicidad sospechada, como fumigantes (Bromuro de Metilo, Fosfina), conservadores (Nitrito de Sodio), e inhibidores de brotación (Hidrazina Maleica). Tanto el Bromuro de metilo, como la Fosfina se utilizan para fumigar granos y frutas; el empleo de ambos está en vías de ser prohibido debido a la toxicidad que causa en el hombre, tanto para el consumidor como para el que lo aplica. Además el Bromuro de Metilo es un depresor de la capa de Ozono y su prohibición se estima para el año 2010 (según el protocolo de Montreal de 1995). La irradiación tiene mayor poder de penetración, es un tratamiento más rápido, no requiere aireación posterior, y no deja residuos en el alimento.
  - 7) La irradiación de cualquier alimento con dosis de hasta 10 KGy ofrece productos inocuos para la salud. Este rango es utilizado en la mayoría de las aplicaciones. Recientemente el ICG-FI (International Consulting Group in Food Irradiation) ha opinado que los datos disponibles sobre química de radiaciones, toxicología, microbiología y propiedad nutricionales de alimentos irradiados con una dosis máxima de 70 KGy son adecuados para asegurar la inocuidad de

dichos alimentos.

- 8) La irradiación de alimentos se aplica con éxito para la preservación con componentes termosensibles como, por ejemplo, las especias, que de emplear sustancias químicas descontaminantes como el óxido de etileno, generan residuos tóxicos. Además, la aplicación de calor provoca pérdidas de aroma y sabor.
- 9) La irradiación de alimentos prolonga el tiempo de comercialización, posibilitando alcanzar mercados internos y externos más lejanos (un alimento esterilizado por irradiación (radapertizado), se puede conservar sin desarrollo microbiano a temperatura ambiente, en su envase, durante años).
- 10) La irradiación de alimentos se realiza en el envase final de producto, pudiéndose utilizar materiales plásticos y así reducir costos en la materia prima del envase.
- 11) El método de tratamiento de los alimentos por irradiación no está destinado a sustituir las prácticas de manufacturas e higiene de los mismos. Ni éste, ni ningún otro tratamiento puede invertir el proceso de descomposición y hacer que un alimento dañado sea comestible.

#### **ANEXO A: LEGISLACION REFERIDA ALA IRRADIACION DE ALIMENTOS\***

#### **CODIGO ALIMENTARIO ARGENTINO**

#### **Capítulo III**

**Art. 174 - (Res 1322, 20.07.88): Se entiende por conservación por radiación**

**ionizante ó energía ionizante, someter los alimentos a la acción de alguna de las siguientes fuentes de energía:**

↑ **Rayos Gamma de los radionucleidos Co<sup>60</sup> ó Cs<sup>137</sup>.**

↑ **Rayos X generados por máquinas que trabajen a energías de 5 MeV inferiores.**

↑ **Electrones generados por máquinas que trabajen a energías de 10 MeV ó inferiores.**

*Los objetivos de la irradiación de alimentos estarán dirigidos, según los casos a:*

- a) Inhibir la brotación.
- b) Retardar la maduración.
- c) Desinfestación de insectos y parásitos.
- d) Reducción de la carga microbiana.
- e) Reducción de microorganismos patógenos no esporulados.
- f) Extensión del período de durabilidad del alimento.
- g) Esterilización industrial.

*Para someter los alimentos a la acción de energía ionizante se deben cumplir los siguientes requisitos:*

1. El procesamiento de alimentos con radiaciones ionizantes será autorizado en particular para cada tipo de alimento por la **Autoridad Sanitaria Nacional**, que deberá establecer las normas correspondientes.

A estos efectos los interesados deberán agregar a su solicitud, información que incluya:

- a) Todos los datos requeridos normalmente.
- b) Datos completos referente a:
  - ↑ Propósito por el que se irradia el alimento.

---

\* Hasta la fecha - marzo 1998

- ↑ Tipo de fuente de irradiación, energía, dosis y condiciones de irradiación.
- ↑ Dosis absorbida en el curso del tratamiento.
- ↑ Descripción de todo proceso tecnológico complementario de la irradiación que pueda intervenir en el tratamiento.
- ↑ Tipo y naturaleza de los envases en que el alimento se irradie.
- ↑ Condiciones y períodos de almacenamiento propuestos para el alimento irradiado.

c) Cuando la dosis global media solicitada supere los 10 KGy, se deben incluir los resultados experimentales que comprueben que los alimentos no presenten productos de radiólisis tóxicos o carcinogénicos, ni alteraciones de valor nutricional y/o de los caracteres organolépticos que superen a los ocasionados por los procesos convencionales de tratamiento y que por su ingestión no ocasionen efectos somáticos o carcinogénicos o bien presentar las conclusiones al respecto emanadas de organismos internacionales (tales como Codex Alimentarius, Organización Internacional de Energía Atómica, FAO, OMS).

## 2. Irradiación repetida.

2.1. Los alimentos irradiados no podrán ser sometidos a irradiación repetida.

***No se consideran sometidos a una irradiación repetida cuando:***

- a) Se irradian con otra finalidad tecnológica alimentos preparados a partir de materiales que se han irradiado a niveles de dosis media menores de 1 KGy;
- b) Se irradian alimentos con un conteni-

do inferior al 5% de ingredientes irradiados;

- c) La dosis total de radiación ionizante requerida para conseguir el efecto perseguido se aplica a los alimentos de modo fraccionado como parte de un proceso con un fin tecnológico específico.

2.2. La dosis absorbida media global que se haya acumulado no deber exceder de 10 KGy.

3. Las plantas industriales de irradiación que procesen alimentos destinados al consumo humano, serán habilitadas por la **Autoridad Sanitaria Nacional** con previa intervención de la **Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)**.

Podrán ser inspeccionadas por la misma y/o las autoridades sanitarias competentes de acuerdo a la ubicación geográfica.

Conjuntamente con el Registro Nacional de elaboradores de Alimentos, la Autoridad Sanitaria Nacional deberá llevar un registro particular de las instalaciones industriales de irradiación, asignándoles un número de referencia y efectuando todas las comunicaciones y publicaciones que correspondan.

Las fábricas elaboradoras de alimentos que utilicen procesos de irradiación para la conservación de los mismos, deberán contar con un Director Técnico que, a juicio de la Autoridad Sanitaria Nacional esté capacitado para ejercer dicha función. El mismo será responsable de la calidad higiénico-sanitaria y bromatológica de los alimentos irradiados, ya sea que la instalación industrial de irradiación esté integrada o no a la planta elaboradora del alimento.

En todos los casos deberá darse intervención a la CNEA, quien asumirá la supervisión de la seguridad radiológica tanto en la aprobación del proyecto como en el



licenciamiento de la instalación de irradiación industrial previo a la habilitación que conferirá la Autoridad Sanitaria Nacional.

La CNEA ejercerá la supervisión de la seguridad radiológica de la instalación industrial de irradiación, el control de las operaciones relacionadas con los procesos de irradiación, la dosimetría, la documentación requerida y la habilitación del personal involucrado en este proceso, para lo cual dispondrá de los procedimientos de inspección y evaluación que determine. Las plantas industriales de irradiación y los registros correspondientes podrán ser inspeccionados por la Autoridad Sanitaria Nacional y/o las autoridades sanitarias competentes de acuerdo al lugar geográfico en que se instalen.

Toda la planta industrial de irradiación deberá contar con un profesional Responsable Técnico y personal técnico necesario, que por la naturaleza de sus estudios estén capacitados para ejercer sus respectivas funciones, a juicio de la Autoridad Sanitaria Nacional y de la CNEA.

**4.** La documentación que ampare el transporte y comercialización de alimentos procesados con energía ionizante (envasados o no) deben contener la información apropiada para identificar la instalación en que se hayan irradiado, la identificación del lote del producto, la dosis absorbida y la fecha de irradiación.

↑ En el caso de productos alimenticios importados tratados por energía ionizante, deberán figurar consignadas en los rótulos o en los documentos de importación, las siguientes informaciones:

- a) País productor del alimento irradiado.
- b) Identidad y dirección de la planta de irradiación.
- c) El número de lote.
- d) Fecha de irradiación.
- e) La naturaleza y cantidad del ali-

mento irradiado.

- f) Tipo de envase usado durante el tratamiento.
- g) El resultado de las pruebas dosimétricas realizadas, detallando en particular los límites inferior y superior de la dosis absorbida y el tipo de la radiación ionizante empleada.
- h) Confirmación de que en el país de origen existe supervisión oficial que asegure las correctas condiciones de irradiación.
- i) Cualquier información suplementaria que se requiera.

Los alimentos irradiados y aquellos que contengan componentes irradiados en una proporción que exceda el 10% del peso total y se expendan envasados, deberán rotularse indicando la condición de “Alimento tratado con energía ionizante” o “Contiene componentes tratados con energía ionizante” respectivamente, con caracteres de tamaño no menor del 30% de los que indican la denominación del producto, de buen realce y visibilidad. Deberá utilizarse además el logotipo recomendado por el Comité de Etiquetado de Alimentos del Codex Alimentarius. Deberán indicar la instalación industrial donde han sido procesados, la fecha de tratamiento y la identificación del lote.

En caso de alimentos irradiados que se expendan al consumidor final en forma no envasada, el logotipo y la frase “Alimento Tratado con Energía Ionizante” ser exhibida al consumidor ya sea:

- ↑ colocando la rotulación del contenedor claramente a la vista,
- ↑ con carteles u otros dispositivos adecuados que lleven las indicacio-

nes anteriores con caracteres de buen tamaño, realce y visibilidad.

En el caso de contenedores a granel la indicación de alimento tratado por energía ionizante deber figurar en los documentos de expedición”.

**Art. 174 ANEXO I - (Res. 171, 2.03.89): Código de prácticas para el funcionamiento de instalaciones de irradiación de alimentos destinados al consumo humano.**

**1. Alcance**

El presente Código de Prácticas se refiere al funcionamiento de las plantas o Instalaciones Industriales de Irradiación que trabajen con una fuente radioisotópica gamma ( $\text{Co}^{60}$  ó  $\text{Cs}^{137}$ ) ó bien con máquinas generadoras de rayos X de hasta 5 MeV o de electrones de hasta 10 MeV.

Quedan comprendidas en las disposiciones de esta norma todas las instalaciones de irradiación que se instalen en el país, destinadas a servicios de carácter comercial o promocional, con el objeto de irradiar materias primas, productos semielaborados y/o alimentos terminados, lograr mejoras tecnológicas o esterilizar productos, cuando los mismos estén destinados al consumo humano.

Estas plantas deben cumplir las disposiciones vigentes referidas al procesamiento, manipulación, almacenamiento, envase e higiene de alimentos. Se permitirá el tratamiento de productos diversos en la misma instalación siempre que se cumplan los requisitos que establezcan la ASN y la CNEA (Autoridad Sanitaria Nacional; Comisión Nacional de Energía Atómica).

Se ajustarán a las normas de seguridad radiológica fijadas por la CNEA y cumplirá con los procedimientos y controles que la misma establece para asegurar la calidad

prevista del producto tratado.

*Las instalaciones pueden ser de dos tipos:*

↑ Irradiación continua.

↑ Irradiación en tandas.

El tratamiento de irradiación a que se someta el alimento se considera como etapa de la elaboración del mismo, pudiendo efectuarse en la propia planta procesadora del alimento, o como servicio por un tercero.

**2. Instalaciones**

*2.1 Fuentes de irradiación*

*Fuentes de irradiación isotópicas.*

Los radio nucleidos utilizados en la irradiación de alimentos emiten fotones de energías características.

El tipo de material de la fuente determina por completo la penetración de la radiación emitida. La actividad de la fuente se mide en unidades Berquelio (Bq) y debe ser indicada por las casas proveedoras.

Se mantendrán registros de la actividad real de la fuente (así como del inventario de los radionucleidos).

La actividad registrada debe tener en cuenta la tasa de desintegración natural de la fuente e ir acompañada por un registro de la fecha en que se haga la medición o el nuevo cálculo.

Los irradiadores dotados de radionucleidos dispondrán de un almacén bien separado y blindado para los elementos de la fuente y de una zona de tratamiento en la que se podrá penetrar cuando la fuente se encuentra en posición de seguridad. Debe haber un indicador positivo de la posición correcta de seguridad de la fuente, que actúe.

### *Máquinas generadoras de electrones o rayos X.*

Se utiliza un haz de electrones generados por un acelerador adecuado o después de su conversión en rayos X.

La penetración de la radiación depende de la energía de los electrones.

Se registrará adecuadamente la intensidad media del haz.

Debe haber un indicador efectivo del ajuste correcto de todos los parámetros de la máquina, que actúe como un sistema automático de corte

Normalmente la máquina está provista de un barredor de haz o un dispositivo de dispersión (por ej. el blanco de transformación) a fin de conseguir una distribución uniforme de la radiación sobre el producto. El movimiento del producto, el ancho y velocidad del barrido y la frecuencia de los impulsos del haz (si corresponde) deben ajustarse para conseguir una dosis uniforme.

El diseño preverá la generación del haz (corriente y tensión) o la intensidad del mismo, en forma permanente durante la irradiación, a fin de asegurar que se han entregado las dosis programadas para el tratamiento.

### *2.2 Depósitos*

La instalación de irradiación estará diseñada de forma que no pueda confundirse el producto a tratar con el ya tratado. Los depósitos cumplirán los requisitos de higiene que correspondan a las normas habituales para el manipuleo y almacenamiento de alimentos, conforme con las reglamentaciones en vigencia que en cada caso especifique la autoridad sanitaria competente.

El depósito de material sin tratar, y el del material irradiado, deberán estar cla-

ramente identificados.

### *2.3 Elementos de control*

Para todos los tipos de instalaciones, las dosis absorbidas por el producto dependen de las características e intensidad de la fuente de radiación, del tiempo de permanencia o de la velocidad de transporte del producto, y de la densidad aparente del material a irradiar. La geometría fuente-producto, en especial la distancia entre el producto y la fuente, y las medidas para aumentar la eficacia de la irradiación, influyen sobre la dosis absorbida y la homogeneidad de la distribución de la dosis.

Los parámetros utilizados para fijar la dosis deseada (por ej. velocidad, tiempo) deben permitir ajustes que determinen un error en la dosis prevista inferior al 10%.

### *2.4 Dosimetría de instalación*

El procedimiento y método de medición de la dosis a utilizar deberán ser compatibles con el producto a tratar y la forma de efectuar el tratamiento y cumplir con lo establecido en la licencia del producto.

Los métodos de medición empleados deberán ser reconocidos por la CNEA (dosímetros físicos, químicos o biológicos).

Cada contenedor o módulo de irradiación deberá tener adosado un monitor de identificación de irradiado. En el caso de alimentos irradiados a granel la identificación de irradiado se determinará particularmente en cada caso.

## **3. Del personal**

En la estructura administrativa de la planta deberá preverse siempre las funciones correspondientes al Responsable Técnico, al Oficial de Seguridad Radiológica, al Jefe de Operación, al Operador y al Encar-

gado de Mantenimiento. Estas funciones serán acumulables en la medida que lo permitan los requerimientos de la instalación. Este personal debe cumplir con las normas sanitarias vigentes y las de aptitud establecidas por la CNEA y haber realizado una práctica a juicio de la CNEA satisfactoria en instalaciones de irradiación o radioactivas relevantes compatibles.

↑ El Responsable Técnico de la planta será un profesional universitario, que a juicio de la ASN y de la CNEA esté capacitado para asumir dicha función.

Entre los requerimientos para esta tarea deber estar habilitado por CNEA.

Cuando sea necesario la CNEA tomará a su cargo la capacitación en radioactividad, interacción de la radiación con la materia, de dosimetría de fuentes selladas y de generadores de radiación ionizante.

Deberá poseer capacitación específica para aplicar las normas de control de calidad de los productos a tratar y las normas de control de calidad del procedimiento de irradiación.

↑ El Oficial de Seguridad radiológica será un profesional universitario, que a juicio de la CNEA esté capacitado para asumir dicha función.

Entre los requerimientos para esta tarea deberá estar habilitado por CNEA.

Cuando sea necesario la CNEA tomará a su cargo la capacitación en física atómica, radiactividad, interacción de radiación con la materia, dosimetría de fuentes selladas y de generadores de radiación ionizante, protección radiológica y seguridad y aspectos legales.

Deberá poseer capacitación específica en planificación y supervisión de las tareas rutinarias y/o en emergencias en una planta de irradiación.

El Jefe de Operación será un técnico con estudios secundarios que a juicio de la CNEA esté capacitado para asumir dicha función. Deberá estar habilitado por CNEA,

con nivel de exigencia similar a los cursos de técnicos de dicha institución, en los mismos temas que el Oficial de Seguridad Radiológica.

Cuando sea necesario la CNEA tomará a su cargo su capacitación. Deberá poseer capacitación específica en programa rutinario de operación y mantenimiento de una planta de irradiación, dosimetría e intervención en emergencias.

↑ El Operador tendrá los estudios técnicos secundarios que a juicio de la CNEA lo capaciten para asumir dicha función.

Deberá estar habilitado por la CNEA en los mismos temas que el Jefe de Operación.

Cuando sea necesario la CNEA tomará a su cargo su capacitación. Deberá poseer capacitación específica en operación de una planta de irradiación, interpretación de normas para irradiación de productos, participación en el mantenimiento en zonas controladas e intervención en emergencias.

↑ El Encargado de Mantenimiento será un técnico con estudios secundarios en electromecánica, que a juicio de la CNEA esté capacitado para asumir dicha función.

Deberá estar habilitado por la CNEA en los mismos temas y con la misma profundidad que para el Jefe de Operación.

Deberán poseer capacitación específica en programación y ejecución de mantenimiento en zonas controladas, supervisión de personal auxiliar de mantenimiento, efectos de la radiación sobre materiales (con especial énfasis en daños) e intervención en emergencias.

#### **4. De los procedimientos para el funcionamiento de la planta**

##### *4.1. Responsabilidad del personal*

↑ Del Titular del Permiso Institucional (otorgado por la CNEA).

Será responsable del cumplimiento de las normas establecidas por la CNEA y de las presentes; a ese efecto prestar su apoyo y supervisar al personal autorizado, según las responsabilidades que a continuación se establecen.

↑ Del Responsable Técnico: Es responsable de la correcta recepción, rotulación, manipuleo, almacenaje y despacho de mercadería; de que el producto reciba la dosis establecida en las condiciones predefinidas acordadas con la legislación vigente sobre irradiación de alimentos y de que se efectúen y registren todos los controles correspondientes.

Para todo nuevo producto verificará que el mismo se ajuste a lo establecido antes de proceder a su irradiación.

Asimismo deberá resolver sobre alternativas (medidas, tipo de envase), siempre que las especificaciones particulares lo permitan.

↑ Del Oficial de Seguridad Radiológica: deberá asentar en el Registro de Operaciones toda modificación o degradación de la instalación que pueda influir sobre la calidad del procedimiento de irradiación y comunicarlo a la CNEA, la que deberá informar de inmediato a la ASN.

Verificará la realización de las acciones de control y calibración establecidas y su comunicación a las autoridades pertinentes, cuando corresponda.

En caso de anomalías deberá comunicarlo a la CNEA, la que deberá informar de inmediato a la ASN.

En lo referente a seguridad radiológica supervisará al Jefe de Operación, al Encargado de Mantenimiento y al Operador en el cumplimiento de los procedimientos establecidos de las operaciones y en el mantenimiento de la planta.

↑ Del Jefe de Operación: verificará que se cumplan todas las condiciones establecidas, tanto para la instalación, como para la

fuentes y el alimento, antes de iniciar la irradiación del producto.

Deberá volcar en el Registro de la Planta el número de lote, fecha, dosis, cantidad y producto de que se trate, fabricante o marca y su firma y aclaración, en los casos que no opere un registro automático.

Supervisará al Operador.

↑ Del Operador: irradiará únicamente productos previamente señalizados por el responsable técnico y antes de proceder a la irradiación colocará en cada contenedor o módulo de irradiación el monitor indicador de irradiado.

Asentará la información requerida en el rótulo de los envases múltiples de material ya irradiado.

Verificará que la recepción y depósito del material a tratar, el almacenamiento y despacho del ya irradiado, se efectúen en los lugares establecidos, asumiendo responsabilidad directa sobre confusiones de productos tratados y sin tratar, que puedan producirse en la Planta.

↑ Del Encargado de Mantenimiento: efectuará el mantenimiento preventivo y el correctivo que se requiera para que la planta se mantenga en los niveles de confiabilidad y eficiencia con que fue licenciada.

#### 4.2 Controles y registros de la Planta

Mediante el diseño de las instalaciones se debe procurar optimizar la relación de uniformidad de la dosis, asegurar tasas apropiadas de dosis, y cuando sea necesario, permitir el control de temperatura durante la irradiación (por ej., para el tratamiento de alimento congelado), así como el control de la atmósfera.

A menudo es necesario también reducir a un mínimo los daños mecánicos al producto durante el transporte, irradiación

y almacenamiento, y es conveniente asegurar la máxima eficacia en el empleo del irradiador.

Cuando los alimentos a irradiar estén sometidos a normas especiales de control de temperatura o de higiene, la instalación deberá permitir el cumplimiento de dichas normas.

En el Apéndice "A" se especifican valores y relaciones dosimétricas.

Se deberá verificar en forma periódica además de la dosimetría, la velocidad de desplazamiento del sistema de transporte, o el tiempo por posición o el tiempo de exposición a la fuente, según corresponda.

Se requerirá una dosimetría completa de la instalación en los siguientes casos: puesta en marcha, incorporación o retiro de fuentes, modificación en la intensidad o distribución de la fuente, recambio de partes del generador de rayos X o de electrones que alteren la producción del haz, y modificaciones del mecanismo de transporte o posicionamiento del producto. Los indicadores biológicos se utilizarán para pruebas de efectividad de la dosis de radiación establecida por métodos químicos o físicos reconocidos por la CNEA.

Se considera como indicadores biológicos las endosporas de *Bacillus pumilus* E-601 y como bacterias vegetativas: *Streptococcus faecium* A2-1, *Bacillus sphericus* C1-A y *Bacillus cereus* C1/1-18.

Se efectuará un control anual de los enclavamientos y la dosimetría.

Anualmente se efectuará un reconocimiento microbiológico del medio ambiente del recinto de irradiación y del agua de la pileta de almacenamiento de la fuente, para el control de la D10 de la flora microbiana existente.

En las plantas con fuentes de irradiación isotópica los valores de las dosis de radiación y consecuentemente los tiempos de tratamiento, se corregirán bimestralmente

por decaimiento de la fuente.

Cuando estas plantas incorporen nuevas fuentes se controlarán bimestralmente durante un semestre, a fin de descartar impurezas radiactivas de la fuente.

En plantas con máquinas generadoras de electrones o rayos X, se verificará mensualmente el sistema automático de regulación de la velocidad de desplazamiento del producto en función de la corriente del haz y se dispondrá de una señalización positiva del correcto ajuste de los parámetros de la máquina y del sistema de transporte del producto.

Todas las novedades de una instalación industrial de irradiación deben volcarse en un Registro de Operación, con la supervisión del personal autorizado por CNEA.

## 5. De los productos procesados con energía ionizante

### 5.1 Normas Generales

La irradiación de alimentos sólo se justifica cuando responde a una necesidad tecnológica o cuando contribuye a alcanzar un objetivo de higiene alimentaria y no debe utilizarse en sustitución de prácticas de elaboración adecuadas.

El material de los envases no debe tener efecto nocivo sobre el contenido ni producir olores anormales o productos tóxicos durante la irradiación y estar aprobado por la ASN.

Las materias primas alimenticias y los productos alimenticios que vayan a ser irradiados deben cumplir con las normas del Código Alimentario Argentino, excepto en los parámetros que serán corregidos o modificados por el tratamiento.

El propietario de los productos a irradiar deberá declarar la naturaleza del producto y su adecuación a las respectivas nor-

mas, las dosis y condiciones de irradiación que requiere, el número de bultos remitidos para tratamiento, el volumen o peso total de la mercadería y la razón social y dirección.

Quedan fuera de estas normas los alimentos expuestos a radiación ionizante con una energía máxima de 5 MeV, emitida por instrumentos de medición o instrucción, siempre que la dosis absorbida no exceda 0,5 Gy.

Todos los productos se deben manipular, antes y después de la irradiación, según prácticas de fabricación aceptadas y adecuadas, que tengan en cuenta los requisitos particulares de la tecnología del proceso que específicamente se establezcan.

En los casos en que por requerimientos de conservación del producto y/o de la tecnología del proceso se establezca que la irradiación debe efectuarse a bajas y/o determinadas temperaturas, la planta dispondrá de las instalaciones requeridas o implementará los recaudos necesarios para el adecuado manejo del producto.

El producto que ingresa a la Planta debe mantenerse materialmente apartado y diferenciado del producto ya irradiado.

## 5.2 *Del Control del Proceso*

Si se trata de una instalación de tratamiento continuo a base de radionucleidos, se debe registrar automáticamente la velocidad de transporte o el tiempo de permanencia, así como indicar la posición del producto y de la fuente; estas mediciones facilitan un control continuo del proceso como complemento de las mediciones dosimétricas corrientes.

En una instalación de tratamiento en tandas dotada de radio nucleidos, se efectuará un registro automático del tiempo de exposición a la fuente y un registro del movimiento y colocación del producto, para controlar el proceso como complemento de

las mediciones dosimétricas corrientes.

En una instalación dotada de una máquina generadora de electrones, se realizará el registro continuo de los parámetros del haz (tensión, corriente, velocidad de barrido, ancho de barrido, repetición de los impulsos) y de la velocidad de transporte a través del haz como un medio de control continuo del proceso como complemento de las mediciones dosimétricas corrientes.

Cuando se estime necesario deberá fijarse a cada envase múltiple del producto un indicador visual de irradiación por cambio de color, a fin de poder determinar fácilmente qué producto está irradiado y que producto está sin irradiar.

Durante el funcionamiento se efectuarán ocasionalmente mediciones dosimétricas de rutina y se harán constar en el registro.

Además, durante el funcionamiento de la instalación se efectuarán mediciones periódicas de los parámetros que rigen el proceso; por ej., velocidad de transporte, tiempo de permanencia, tiempo de exposición a la fuente y parámetros del haz de la máquina.

Los registros de estas mediciones se utilizarán como prueba de que el proceso se ajusta a las disposiciones reglamentarias.

Durante el proceso se efectuarán ocasionalmente mediciones de la dosis en una posición de referencia.

Debe conocerse la relación entre la dosis en la posición de referencia y la dosis media global (ver Apéndice "A").

Estas mediciones sirven para garantizar el funcionamiento correcto del proceso.

Debe utilizarse un sistema de dosimetría autorizados por CNEA y calibrado.

La dosimetría que constata que el producto recibe la dosis prescripta, puede

efectuarse sobre fantasmas pero siempre deberá corroborarse sobre el producto.

Se ubicarán los dosímetros en el envase eligiendo los lugares más adecuados para obtener la mejor ubicación de la distribución de la dosis.

Todo producto que difiera de los ya procesados en densidad aparente, forma o tipo de embalaje u otras características que puedan afectar la dosis absorbida, requerirá una dosimetría específica.

### 5.3 Del Registro de Procesamiento

En el Libro de Registro de las instalaciones se hará constar el envase, la naturaleza, cantidad y el tipo del producto que se está tratando, los datos de identificación y el número de lote, si está envasado o los consignados en los documentos de expedición su densidad aparente, el tipo de fuente, la dosimetría los dosímetros utilizados y el detalle de su calibrado, y la fecha del tratamiento.

Se llevará un registro completo de todas las mediciones dosimétricas, inclusive la calibración. Los asientos serán volcados por el personal autorizado por CNEA. Los registros se conservarán durante 5 años.

## APÉNDICE “A”

### Dosimetría

#### 1. Dosis absorbida media global

A efectos de determinar la comestibilidad de los alimentos tratados con una dosis media global de 10 KGy o menos, puede suponerse que todos los efectos químicos producidos por las radiaciones en este intervalo determinado de dosis son proporcionales a la dosis.

La dosis media global,  $D$ , se define por la siguiente integral en el volumen total de los

productos:

$$D = \frac{1}{M} \int \rho(x, y, z) \cdot d(x, y, z) \cdot dV$$

donde:

$M$  = es la masa total de muestra tratada.

$\rho$  = la densidad local en el punto  $(x, y, z)$ .

$d$  = la dosis absorbida local en el punto  $(x, y, z)$ .

$dV = dx dy dz$  es el elemento del volumen infinitesimal que en casos reales esté representado por fracciones volumétricas.

La dosis absorbida media global puede determinarse directamente para productos a granel de densidad aparente homogénea distribuyendo un número adecuado de dosímetros en puntos estratégicos y al azar en todo el volumen de los productos.

A partir de la distribución de dosis determinada de esta manera es posible calcular un promedio, que será la dosis absorbida media global.

La forma de la curva de distribución de dosis en el producto, permite conocer las posiciones correspondientes a la dosis mínima y la máxima.

Las mediciones de la distribución de la dosis en estas dos posiciones en una serie de muestras del producto puede utilizarse para obtener una estimación de la dosis media global.

El valor medio de la dosis mínima ( $D_{\text{mín}}$ ) y de la dosis máxima ( $D_{\text{máx}}$ ) constituye una buena estimación de la dosis media global.

O sea que, en dichos casos:

La dosis media global es aproximadamente

$$D = \frac{D_{\text{máx}} + D_{\text{mín}}}{2}$$



## 2. Valores de la dosis efectiva y límite

Algunos tratamientos eficaces por ej la eliminación de microorganismos perjudiciales, la prolongación del tiempo de almacenamiento o la desinfección requieren una dosis absorbida mínima.

En otros casos, una dosis absorbida demasiado alta puede producir efectos perjudiciales o deteriorar la calidad del producto.

El diseño de la instalación y los parámetros operacionales deben tener en cuenta los valores correspondientes a las dosis mínima y máxima que requiere el proceso.

En algunas aplicaciones de dosis que no superen 1 KGy, la relación de dosis máxima a mínima podrá ser superior a 3.

La instalación debe poder adecuarse a un requerimiento específico en el que la relación dosis máxima a mínima no sea mayor que 2 (con dosis medias globales superiores a 1 KGy).

Cuando se utilicen electrones para obtener efectos en parte del producto (por ej. tratamientos superficiales para el control de infestaciones en frutos o granos) se considerará solamente el valor de D mín a la profundidad máxima que se desee tratar.

Con respecto a la dosis máxima aceptable desde el punto de vista de la salubridad y debido a la distribución estadística de la dosis una fracción de la masa del producto del 2,5% como máximo podrá recibir una dosis absorbida máxima de hasta 15 KGy, cuando la dosis media global es de 10 KGy.

## CAPITULO XI

### Art. 827bis - (Res 171, 2.03.89): Las pa-

**pas, que cumplan con las exigencias del presente Código podrán ser sometidas a la acción de energía ionizante con la finalidad de inhibir su brotación. El proceso de irradiación deberá realizarse según las disposiciones del Art. 174 del presente Código. La dosis de radiación absorbida deberá estar comprendida entre 0,03 y 0,15 KGy.**

*Además deberán cumplirse los siguientes requisitos:*

- a) Las papas a irradiar no deberán presentar cortes, magulladuras o lesiones exteriores.

Aquellas que presenten algún tipo de lesión superficial debido a daño mecánico durante la cosecha y/o almacenamiento podrán ser irradiadas luego de haber sido sometidas a un proceso de restauración tisular mediante un estacionamiento durante 1-2 semanas a temperaturas ambiente y con circulación de aire húmedo (humedad relativa entre 85 y 95%).

Las papas no podrán ser objeto de ningún tratamiento químico de inhibición de brotación previa o posteriormente a la irradiación.

- b) La irradiación deberá efectuarse en un plazo no mayor de 40 días posteriores a la cosecha.

Dicho plazo podrá ser extendido hasta 90 días si las papas fueran almacenadas en condiciones de refrigeración (temperatura no mayor de 10°C).

- c) La irradiación y comercialización podrá realizarse:

- 1-En envases que respondan a las exigencias del Art.184 del presente Código, que permitan la respiración del producto y que contengan no más de 10 Kg para su expendio di-

recto al consumidor.

- 2- A granel, en cajas, cajones o contenedores cuya estructura y/o diseño interior no puedan provocar lesiones en el producto y permitan su respiración.

*Los envases y contenedores en general no podrán ser objeto de ningún tratamiento químico previa o posteriormente a la irradiación.*

- d) El rotulado de los productos envasados y las informaciones al consumidor de los no envasados deberán consignar los requisitos establecidos en el Art.174 y los que correspondan del presente Código, y la siguiente indicación: "Conservar en lugar fresco, aireado y protegido de la luz solar directa".
- e) Las papas irradiadas deberán ser almacenadas hasta su expendio y/o exhibidas al consumidor en lugares frescos, aireados y protegidos de la luz solar".

**Art. 841bis - (Res 171, 2.03.89): Los ajos, que cumplan con las exigencias del presente Código, podrán ser sometidos a la acción de energía ionizante con la finalidad de inhibir su brotación. El proceso de irradiación deberá realizarse según las disposiciones del Art. 174 del presente Código. La dosis de radiación absorbida deberá estar comprendida entre 0,02 y 0,15 KGy.**

*Además deberán cumplirse los siguientes requisitos:*

- a) Los bulbos de ajo deberán ser secados superficialmente durante las primeras 2 semanas posteriores a su cosecha. Los ajos no podrán ser objeto

de ningún tratamiento químico de inhibición de brotación previa o posteriormente a la irradiación.

- b) La irradiación de los ajos deberá efectuarse en un plazo no mayor de 40 días posteriores a su cosecha. Dicho plazo podrá ser extendido hasta 90 días si los ajos fueren almacenados en condiciones de refrigeración (temperatura no mayor de 10°C).
- c) La irradiación y comercialización podrá realizarse:
  - 1 -En envases que respondan a las exigencias del Art.184 del presente Código, que posibiliten la respiración del producto y cuyo tamaño permita su expendio directo al consumidor.
  - 2- A granel, en cajas, cajones o contenedores cuya estructura y/o diseño interior no puedan provocar lesiones en el producto y permitan su respiración.

*Los envases y contenedores en general no podrán se objeto de ningún tratamiento químico previa o posteriormente a la irradiación.*

- d) El rotulado de los productos envasados y las informaciones al consumidor de los no envasados deberán consignar los requisitos establecidos en el Art.174 y los que correspondan del presente Código, y la siguiente indicación: "Conservar en lugar fresco, aireado y protegido de la luz solar directa".
- e) Los ajos irradiados deberán ser almacenados hasta su expendio y/o exhibidos al consumidor en lugares frescos, aireados y protegidos de la luz solar".

**Art. 844bis - (Res 171, 2.03.89): Las cebollas, que cumplan con las exigencias del presente Código, podrán ser sometidas a**

**la acción de energía ionizante con la finalidad de inhibir su brotación. El proceso de irradiación deberá realizarse según las disposiciones del Art. 174 del presente Código. La dosis de radiación absorbida deberá estar comprendida entre 0,02 y 0,15 KGy.**

*Además deberán cumplirse los siguientes requisitos:*

- a) Los bulbos de cebolla deberán ser secados superficialmente durante las primeras dos semanas posteriores a su cosecha.

Las cebollas no podrán ser objeto de ningún tratamiento químico de inhibición de brotación previa o posteriormente a la irradiación.

- b) La irradiación de las cebollas deberá efectuarse en un plazo no mayor de 40 días posteriores a su cosecha. Dicho plazo podrá ser extendido hasta 90 días si las cebollas fueren almacenadas en condiciones de refrigeración (temperatura no mayor de 16°C).

- c) La irradiación y comercialización podrá realizarse:

1 -En envases que respondan a las exigencias del Art.184 del presente Código, que permitan la respiración del producto y que contengan no más de 10 Kg. para su expendio directo al consumidor.

2- A granel, en cajas, cajones o contenedores cuya estructura y/o diseño interior no puedan provocar lesiones en el producto y permitan su respiración.

*Los envases y contenedores en general no podrán ser objeto de ningún tratamiento químico previa o*

*posteriormente a la irradiación.*

- d) El rotulado de los productos envasados y las informaciones al consumidor de los no envasados deberán consignar los requisitos establecidos en el Art. 174 y los que correspondan del presente Código, y la siguiente indicación: “Conservar en lugar fresco, aireado y protegido de la luz solar directa”.

- e) Las cebollas irradiadas deberán ser almacenadas hasta su expendio y/o exhibidas al consumidor en lugares frescos, aireados y protegidos de la luz solar”.

**Art. 845bis: (Res MSyAS n° 538, 2.08.94): Los espárragos frescos que cumplen con las exigencias del presente Código, podrán ser sometidos a la acción de la energía ionizante con la finalidad de prolongar su vida útil. El proceso de irradiación deberá realizarse según las disposiciones del Art. 174 del presente Código. La dosis de radiación absorbida deberá ser: no menor que 1,0 KGy ni mayor que 2,0KGy como dosis mínima y máxima respectivamente.**

*Además deberán cumplirse los siguientes requisitos:*

- a) Los espárragos deberán:
1. Ser cosechados con grado de madurez comercial.
  2. Ser seleccionados, sanos, sin golpes ni manchas.
  3. Ser acondicionados: en envases que cumplan con las especificaciones del Inciso b) del presente artículo, a una temperatura de refrigeración no mayor que 5°C y con una humedad relativa ambiente mayor del 90%.
  4. Ser Irradiados en un período no mayor de 24 hs después de su cosecha y

- de acuerdo con las especificaciones establecidas en el presente artículo.
5. Luego de su cosecha no será objeto de ningún tratamiento previo o posterior a la irradiación, que no esté expresamente autorizado por el presente Código.
    - b) La irradiación y comercialización podrán efectuarse :
      - I- En envases o envolturas que correspondan a las exigencias de los Arts.184 y 207 del presente Código y cuyo tamaño sea adecuado para su expendio directo al consumidor. Los materiales de envase deberán ser: bromatológicamente aptos, resistentes a las dosis de radiación absorbidas, poseer una permeabilidad selectiva al oxígeno, al dióxido de carbono, y al vapor de agua que permita el mantenimiento de una atmósfera controlada, asegurando las condiciones de aerobiosis y de la vida útil de los espárragos irradiados.
    - c) El rotulado de los envases deberá consignar los requisitos establecidos en el Art. 174 y los que correspondan del presente artículo y las siguientes indicaciones con caracteres de buen tamaño, realce y visibilidad.
      - 1) “Conservar en frío” o “Conservar refrigerado” o similar.
      - 2) Fecha de irradiación: (día, mes, año).
    - d) Los espárragos frescos solo podrán ser comercialmente irradiados en instalaciones:
      - 1) debidamente licenciadas de acuerdo con lo establecido en el Art. 174 del presente Código y;
      - 2) que posean capacidad operativa adecuada para el cumplimiento de las especificaciones de irradiación consignadas en el presente artículo.
    - e) Los espárragos irradiados deberán ser almacenados hasta su expendio a una temperatura no mayor que 5°C, con humedad relativa ambiente mayor que el 90% y con su envase íntegro”.

Podrán emplearse entre otros, los siguientes materiales:

- 1) Bandejas de poliestireno con una envoltura de PVC de 15 a 25 micrones de espesor.
  - 2) Bandejas de cartón encerado con una envoltura de PVC semipermeable o de celofán PT, de 15 a 25 micrones de espesor.
- II- En contenedores de distribución provistos con una envoltura que reúna las características previamente mencionadas en este Inciso.

***Los envases y/o envolturas no podrán ser objeto de ningún tratamiento químico posterior o previo a la irradiación que no esté, expresamente autorizado en el presente Código.***

**Art. 884bis (Res 171, 2.03.89): Las frutillas frescas, enteras, sanas y limpias, que cumplan con las exigencias del presente Código, podrán ser sometidas a la acción directa e ionizante con la finalidad de prolongar su vida útil. El proceso de irradiación deberá realizarse según las disposiciones del Art.174 del presente Código. La dosis media global absorbida no deberá ser mayor de 2,5 KGy.**

*Además deberán cumplirse los siguientes requisitos:*

- a) Las frutillas a irradiar deberán tener su pedúnculo adherido y no presentar crecimiento de hongos macroscópicamente visibles.  
Las frutillas cosechadas no podrán ser

objeto de ningún tratamiento químico antifúngico y/o antiparasitario previa o posteriormente a la irradiación.

- b) La irradiación deberá efectuarse cuando la frutilla esté en el estadio de madurez comercial.
- c) La irradiación y comercialización deberá efectuarse en envases o envolturas selladas que respondan a las exigencias de los Arts 184 y 207 bis del presente Código y cuyo tamaño sea adecuado para su expendio directo al consumidor. Los materiales de los envases o envolturas deberán impedir la recontaminación microbiana y poseer una permeabilidad al oxígeno, al dióxido de carbono y al vapor de agua que asegure la vida útil de la frutilla irradiada establecida en el Inc.d) de este artículo.

*Podrán emplearse, entre otros, los siguientes materiales:*

- 1- Polietileno de 25-35 micrones de espesor.
- 2 -Polipropileno biorientado microperforado 15-25 micrones de espesor.
- 3 -Cloruro de polivinilo de 15-20 micrones de espesor.

*Los envases y envolturas no podrán ser objeto de ningún tratamiento químico previa o posteriormente a la irradiación.*

- d) El rotulado deberá consignar los requisitos establecidos en el Art.174 y los que correspondan del presente Código, y las siguientes indicaciones con caracteres de buen tamaño, realce y visibilidad:

- 1 - "Conservar refrigeradas".
- 2 - Fecha de vencimiento. La misma deberá

estar comprendida dentro de un plazo no mayor de 15 días posteriores a la fecha de irradiación.

- e) Las frutillas irradiadas deberán ser almacenadas hasta su expendio y/o exhibidas al consumidor a una temperatura entre 3° y 5°C y una humedad relativa entre 80 y 90%."

## CAPITULO XVI

**Art. 1249bis - (Res MSyAS n° 538, 2.08.94): Los hongos de cultivo, comestibles y frescos que cumplan con las especificaciones del presente Código, podrán ser sometidos a la acción de la energía ionizante con la finalidad de prolongar su vida útil. El proceso de irradiación deber realizarse según las disposiciones del Art 174 del presente Código. La dosis de radiación absorbida deberá ser: no menor que 1,0 KGy y no mayor que 3,0 KGy como dosis mínima y máxima respectivamente.**

*Además deberán cumplirse los siguientes requisitos:*

- a) los hongos de cultivo, comestibles y frescos deberán:
  - 1. Ser cosechados con grado de madurez comercial.
  - 2. Ser seleccionados, sanos, sin golpes ni manchas.
  - 3. Ser envasados con materiales de envase acordes con lo especificado en el Inciso b) del presente artículo y conservados hasta su irradiación a una temperatura no mayor que 15°C con una Humedad relativa ambiente mayor del 90%.
  - 4. Ser irradiados dentro de las 24 hs. posteriores a la cosecha.

5. Luego de su recolección, no ser objeto de ningún tratamiento previo o posterior a la irradiación que no esté, expresamente autorizado en el presente Código.
- b) La irradiación y comercialización podrá efectuarse:

En envases o envolturas que correspondan a las exigencias de los artículos 184 y 207 del presente Código y cuyo tamaño sea adecuado para su expendio directo al consumidor.

Los materiales de envase deberán ser bromatológicamente aptos, resistentes a las dosis de radiación empleadas, poseer una permeabilidad selectiva al oxígeno, al dióxido de carbono y al vapor de agua que permita el mantenimiento de una atmósfera controlada, asegurando las condiciones de aerobiosis y la vida útil de los hongos irradiados.

*Podrán emplearse entre otros, los siguientes materiales:*

- 1) Bandejas de poliestireno con envoltura de PVC de 15 a 25 micrones de espesor.
- 2) Bandejas de cartón encerado con envoltura de una película semipermeable de PVC o de Celofán PT, de 15 a 25 micrones de espesor.

II. En contenedores de distribución provistos de una envoltura que reúna las características previamente señaladas en este Inc. Los envases y/o envolturas no podrán ser objeto de ningún tratamiento previo o posterior a la irradiación, que no esté expresamente autorizado en el presente Código.

c) El rotulado de los envases deberá consignar los requisitos establecidos en el Art. 174 y los que correspondan del presente artículo y las siguientes

indicaciones con caracteres de buen tamaño, realce y visibilidad.

1. “Conservar refrigerado” o “Conservar entre 10°C a 15°C o similar”.
  2. Fecha de Irradiación: (día, mes, año).
- d) Los hongos frescos sólo podrán ser comercialmente irradiados en instalaciones:
- a) debidamente licenciadas de acuerdo con lo establecido en el Art. 174 del presente Código y
  - b) que posean capacidad operativa adecuada para el cumplimiento de las especificaciones de irradiación consignadas en el presente artículo.
- e) Los hongos irradiados deberán ser almacenados con su envase íntegro, en lugar refrigerado a una temperatura no mayor de 15°C, y con una Humedad relativa ambiente mayor del 90%.”

**Art. 1201bis -(Res 1549, 12.09.90): Las especias, condimentos vegetales desecados y/o sus mezclas, que cumplan con las exigencias del presente Código a excepción de una presencia reducida de insectos y/o parásitos en sus distintos estadios de desarrollo y su detritus y/u hongos, podrán ser sometidos a la acción de energía ionizante con la finalidad de su desinfestación preventiva o activa y/o la disminución o eliminación de la flora microbiana contaminante. El proceso de irradiación deberá realizarse según las disposiciones del Art. 174 del presente Código. La dosis media global absorbida no deberá ser mayor de 30 KGy.**

*Además deberán cumplirse los siguientes requisitos:*

- a) Los productos a irradiar no podrán ser objeto de ningún tratamiento químico

- de desinfección y/o de contaminación previa o posteriormente a la irradiación.
- b) La irradiación y comercialización podrán efectuarse:
- I. Para desinfectar preventiva o activamente especias poco infestadas o sin infestación aparente con una dosis media global absorbida no mayor de 1 KGy.
  - II. Para disminuir o eliminar la flora microbiana no esporulada contaminante con una dosis absorbida no mayor de 10 KGy.
  - III. Para disminuir o eliminar la flora microbiana esporulada contaminante con una dosis absorbida no mayor de 30 KGy.
3. Cloruro de polivinilo/Cloruro de polivinilideno de 30-60 micrones de espesor.
4. Aluminio/Polietileno (laminado) de 60-90 micrones de espesor.
- 2) A granel, en cajas, cajones o contenedores provistos con una envoltura que permita la respiración e impida la reinfestación y/o la recontaminación de las especias.

*Los envases, envolturas y contenedores en general no podrán ser objeto de ningún tratamiento químico previa o posteriormente a la irradiación.*

*En todos los casos, el envasado deberá efectuarse:*

- 1) En envases o envolturas que respondan a las exigencias de los Arts. 184 y 207 bis del presente Código y cuyo tamaño sea adecuado para su expendio directo al consumidor.
- c) El rotulado deberá consignar los requisitos establecidos en el Art.174 y los que correspondan del presente Código y las condiciones de conservación con caracteres de buen tamaño, realce y visibilidad.
- d) Los productos irradiados deberán ser almacenados hasta su expendio y/o exhibidos al consumidor en condiciones similares a las indicadas en el rotulado”.

Los materiales de los envases o envolturas deberán impedir la reinfestación y/o la recontaminación y poseer una permeabilidad al oxígeno, al dióxido de carbono y al vapor de agua que asegure la vida útil del producto irradiado.

*Podrán emplearse, según el producto de que se trate y/o las condiciones de conservación y durabilidad deseadas, entre otros, los siguientes materiales:*

1. Polietileno de 80-150 micrones de espesor.
2. Celofán K/Polietileno (laminado) de 60-90 micrones de espesor.

## CAPITULO XVIII

**Art. 1401bis - (Res 1549, 12.09.90): Las frutas y vegetales secos, desecados o deshidratados, que cumplan con las exigencias del presente Código a excepción de la presencia de insectos y/o parásitos en sus distintos estadios de desarrollo, podrán ser sometidos a la acción de energía ionizante con la finalidad de su desinfección preventiva o activa. El proceso de irradiación deberá realizarse según las disposiciones del Art. 174 del presente Código. La dosis media global absorbida no deberá ser mayor de 1 kGy.**

*Además deberán cumplirse los siguientes requisitos:*

- a) Los productos a irradiar no podrán ser objeto de ningún tratamiento químico de desinfestación previa o posteriormente a la irradiación.
- b) La irradiación y comercialización podrán efectuarse:
  - I) En envases o envolturas que respondan a las exigencias de los Arts 184 y 207 bis del presente Código y cuyo tamaño sea adecuado para su expendio directo al consumidor, en el caso de productos sin infestación macroscópicamente visible. Los materiales de los envases o envolturas deberán impedir la reinfestación y poseer una permeabilidad al oxígeno, al dióxido de carbono y al vapor de agua que asegure la vida útil del producto irradiado.

*Podrán emplearse, según el producto de que se trate y/o las condiciones de conservación y durabilidad deseadas, entre otros, los siguientes materiales:*

- 1. Polietileno de 80-150 micrones de espesor.
  - 2. Celofán K/Polietileno (laminado) de 60-90 micrones de espesor.
  - 3. Cloruro de polivinilideno de 15-30 micrones de espesor.
  - 4. Aluminio/Polietileno (laminado) de 60-90 micrones de espesor.
- II) A granel, en cajas, cajones o contenedores cuya estructura y/o diseño interior no pueda provocar lesiones en el producto.  
Las frutas y vegetales irradiados a granel deberán someterse a procedimientos físicos o mecánicos con

el objeto de disminuir los restos de insectos y/o parásitos y/o sus residuos.

Posteriormente, deberán ser acondicionados en cajas o cajones provistos con una envoltura que impida su reinfestación o envasados según las disposiciones previamente consignadas en el Inc b-1 absorberencia.

*Los envases, envolturas y contenedores en general no podrán ser objeto de ningún tratamiento químico previa o posteriormente a la irradiación.*

- c) El rotulado deberá consignar los requisitos establecidos en el Art.174 y los que correspondan del presente Código y las condiciones de conservación con caracteres de buen tamaño, realce y visibilidad.
- d) Las frutas y vegetales secos, desecados o deshidratados irradiados deberán ser almacenados hasta su expendio y/o exhibidos al consumidor en condiciones similares a las indicadas en el rotulado”.

## APENDICE 1

El Cobalto 60 ( $\text{Co}^{60}$ ) es un isótopo artificial. Se prepara en un reactor nuclear bombardeando el isótopo estable  $\text{Co}^{59}$  con neutrones. La absorción de neutrones da lugar al  $\text{Co}^{60}$ , que es estable y tiene número atómico  $Z= 27$ ; y número másico  $N= 33$ . Este es un núcleo “impar-impar” que se desintegra pasando a  $\text{Ni}^{60}$  por emisión de partículas beta ( $\beta$ ) y rayos gamma ( $\gamma$ ); y cuyo período de semidesintegración es de 5.27 años. Estas fuentes artificiales tienen varias ventajas respecto de las fuentes naturales; al tener períodos de desintegración más cortos, son más intensos. No emiten partículas



alfa ( $\alpha$ ) que generalmente son indeseables, y los electrones emitidos son fáciles de detener con láminas de metal delgado, sin atenuar de forma apreciable la intensidad de la radiación gamma ( $\gamma$ ) deseada.

**Número másico** =  $N \cdot p^+ + N \cdot n$

**Número atómico** =  $N \cdot p^+ = N \cdot e^-$

**Isótopo** = Difieren en el número de neutrones. Tienen distinto número másico. Las **partículas alfa** ( $\alpha$ ) tiene **carga positiva**

Las **partículas beta** ( $\beta$ ) tienen **carga negativa**

Los **rayos gamma** ( $\gamma$ ) tienen **carga neutra**

## DEFINICIÓN DE TERMINOS

Un **roentgen** (r) es la cantidad de radiación gamma o de radiación X, que, en condiciones estándar, origina una unidad electrostática de carga eléctrica, tanto si es de signo positivo como negativo, en un centímetro cúbico de aire.

Un **roentgen equivalente físico** (rep) es la cantidad de energía ionizante que origina, por gramo de tejido, una cantidad de ionizante equivalente roentgen. Un **megarep** equivale a 1 millón de reps. Un r, o 1 rep, equivale a la absorción de 83 a 90 ergios por gramo de tejido.

Un **curio** es la cantidad de sustancia

radiactiva en la que se producen  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones por segundo. A efectos prácticos, 1g de radio puro posee la radiactividad de 1 curio de radio. La nueva unidad que sustituye el curio es el **Bequerel** (Bq).

En la actualidad, el **rad** se emplea principalmente como una unidad de dosis de radiación, siendo equivalente a la absorción de 100 ergios por gramo, y un **Kilorad** (Krad) equivale a 1.000 rads.

Un **electronvoltio** (eV) es la energía adquirida por un electrón al desplazarse a través de una diferencia de potencial de 1 voltio. Un **megaelectronvoltio** (MeV) equivale a un millón de electrovoltios. Por consiguiente, el MeV es la unidad de medida de la intensidad de la irradiación, mientras que el rep es la unidad de la energía absorbida que es eficaz en el interior del alimento.

Un **Gray** (Gy) equivale a 100 rads y en la actualidad se está empleando en algunas citas bibliográficas como sustituto del término rads. El **Gray** es una moderna unidad de dosis de radiación con la cual se mide la sensibilidad de los microorganismos a las radiaciones.

## Equivalencias:

1 Gy = 100 rads = 1 julio/Kg

1 KGy = 1000 Grays =  $10^5$  rads

10 KGy = 1 Mrad

## BIBLIOGRAFÍA

- 1- JAY, James M. *Microbiología moderna de los alimentos*. Zaragoza, Acribia, 1992.
- 2- FRAZIER, W. C. - WESTHOFF, D. C. *Microbiología de los alimentos*. Zaragoza, Acribia, 1988.
- 3- SEARS - ZEMANSKY - YOUN. *Física universitaria*. USA, Iberoamericana, 1988.
- 4- CODIGO ALIMENTARIO ARGENTINO. Bs. As., Ed. De la Canal y Asociados, 1996. Capítulos III; XI; XVI; XVIII. *Edición actualizada*
- 5- Revista "La alimentación latinoamericana". Informe de la Lic. Patricia Narvaiz. Número 218, pág. 41
- 6- BRENNAN, J. *Las operaciones de la ingeniería de alimentos*. Zaragoza, Acribia, 1998.