

Opinión del Comité científico de la AESA sobre una cuestión presentada por la Presidencia de la AESA, en relación con la aplicación de radiaciones ionizantes a los alimentos.

Núm. Referencia: AESA-2003-004

Documento aprobado por el Comité Científico en sesión plenaria el 22 de septiembre de 2004

Miembros del Comité Científico

Arturo Anadon Navarro, Albert Bosch Navarro, Andrés Otero Carballeira, María Luisa García López, Elías Rodríguez Ferri, José Manuel Sánchez-Vizcaíno Rodríguez, Juan José Badiola Díez, Fernando Rodríguez Artalejo, José Luis García López, Manuel Martín Esteban, Andreu Palou Oliver, Margarita Arboix Arzo, Manuela Juárez Iglesias, Juan Antonio Ordóñez Pereda, Vicente Sanchis Almenar, Gonzalo Zurera Cosano, Juan Francisco Cacho Palomar, Francesc Centrich Escarpener, Gregorio Varela Moreiras.

Grupo de Trabajo

Juan A. Ordóñez Pereda (coordinador)
Manuela Juárez Iglesias
Gonzalo Zurera Cosano
Andrés Otero Carballeira

Resumen

La aplicación de radiaciones ionizantes a los alimentos es un proceso físico no térmico que se puede utilizar para destruir ciertos microorganismos presentes en los mismos. En los alimentos se utilizan habitualmente dosis inferiores a 10 kGy. Se conoce muy bien cual es la radiorresistencia de los microorganismos pudiendo ordenarse, de más a menos resistentes, como virus > esporas bacterianas > bacterias gram positivas > bacterias gram negativas > mohos y levaduras > parásitos. Aparte de la radiorresistencia intrínseca de cada microorganismo, son muchos los agentes y factores que influyen en la letalidad de las radiaciones ionizantes, como la temperatura y actividad del agua del medio. Puede decirse, en términos generales, que a medida que descienden estos dos parámetros aumenta la radiorresistencia.

Una de las aplicaciones potenciales del tratamiento de los alimentos con radiaciones ionizantes es la de destruir microorganismos alterantes y patógenos para, respectivamente, ampliar su vida útil o conseguir un producto final seguro. En primer lugar, hay que apuntar que tanto desde el punto de vista tecnológico como del sanitario cabe decir que, debido a la gran radiorresistencia de las esporas de *Cl. botulinum*, no parece que las radiaciones ionizantes puedan aplicarse para conseguir la esterilidad comercial de los alimentos. La aplicación de radiaciones ionizantes queda, por tanto, restringida a la higienización de alimentos, lo que implica que los microorganismos a tener en cuenta principalmente son los patógenos no esporulados. No cabe duda que, al tiempo, se reduciría la carga de muchos microorganismos alterantes, en especial la microbiota aerobia Gram negativa, con lo que se conseguiría un aumento de la vida útil del producto final refrigerado. Se plantea, en definitiva, analizar, a la luz de los conocimientos actuales, si el tratamiento de los alimentos con radiaciones ionizantes con dosis de hasta 10 kGy es apropiado para conseguir una protección eficaz del consumidor, en relación con los riesgos de origen microbiano, en las condiciones actuales de la sociedad europea.

Teniendo en cuenta la radiorresistencia de los diferentes microorganismos de interés sanitario descrita en distintas publicaciones puede concluirse que, en el contexto del presente dictamen, el micro-

organismo que alcanza mayor relevancia es *Listeria monocytogenes* ya que junto a su radiorresistencia hay que tener presente su carácter de psicrotrofilia.

De acuerdo con las dosis infectivas de *L. monocytogenes*, la gravedad de la enfermedad que ocasiona, los datos acerca de los brotes que han ocurrido, los criterios microbiológicos propuestos y las características culturales de esta bacteria, se ha establecido como objetivo una reducción de su número hasta 10^{-3} u.f.c. g⁻¹. Para conseguir este objetivo en alimentos crudos y en productos listos para su consumo (RTE¹) se requiere un tratamiento que logre, respectivamente, 6 y 4 reducciones decimales. Con ello, admitiendo un crecimiento de 10^5 u.f.c. g⁻¹ durante el almacenamiento del producto bajo refrigeración, se conseguiría el objetivo de seguridad alimentaria (FSO).

A la vista, por una parte, de la resistencia en matrices alimentarias de *L. monocytogenes* frente a la acción letal de radiaciones ionizantes y, por otra, el FSO que se requiere alcanzar (que en las condiciones habituales requiere un tratamiento que consiga 6 reducciones decimales), puede concluirse que con dosis menores a los 10 kGy se logra perfectamente el objetivo de una protección adecuada del consumidor (ALOP). Dada la posibilidad de que las radiaciones ionizantes provoquen sobre todo en los alimentos de origen animal efectos sensoriales y nutricionales desfavorables, se podría reducir la dosis hasta alrededor de 6 y 4 kGy, respectivamente, consiguiéndose igualmente el FSO.

Palabras clave

Radiaciones ionizantes, microorganismos patógenos, alimentos, *Listeria monocytogenes*, seguridad alimentaria.

1 Siglas en inglés correspondientes a "Ready To Eat"

Antecedentes

1. Consideraciones generales

La irradiación de alimentos es un tratamiento físico con alta energía, mediante el uso de radiaciones ionizantes, es decir, que ocasiona pérdida de los electrones más externos de los átomos y moléculas convirtiendo a los mismos en iones. Se considera un método alternativo para la conservación de alimentos. Durante la irradiación, los alimentos se exponen brevemente a una fuente de energía radiante (rayos gamma, rayos X o electrones acelerados) dentro de una instalación protectora. La irradiación no sustituye a la correcta fabricación y manipulación de alimentos pero puede aplicarse con diferentes propósitos, como:

- Prevención de germinación y brote de patatas, cebollas, ajos y otras hortalizas
- Desinfestación de granos, frutas, hortalizas y frutos secos.
- Retardar la maduración y envejecimiento de hortalizas y frutas.
- Prolongación de la vida útil en pescado, marisco, carnes frescas y carnes de aves de corral mediante la destrucción de microorganismos alterantes.
- Prevención de enfermedades de transmisión alimentaria mediante la eliminación de microorganismos patógenos
- Reducción de microorganismos en hierbas y especias.

La irradiación no debe confundirse con la contaminación de alimentos por materiales radioactivos, los cuales emiten radiaciones que pueden dañar la salud de la población expuesta a las mismas. La irradiación de alimentos no puede producir radiación inducida en los alimentos a las dosis que se aplican en la práctica porque aunque sean de alta energía no es lo suficientemente intensa como para provocar los cambios necesarios en el núcleo atómico. Tampoco causa cambios químicos nocivos. El proceso, a dosis máximas de 10 kGy, puede ocasionar pérdidas parciales de nutrientes y algunas modificaciones de las propiedades sensoriales pero no más que otros métodos de procesado que se aplican habitualmente, como el cocinado, pasteurización, esterilización, etc.

2. Situación actual y perspectivas de la irradiación de alimentos

La irradiación de alimentos ha sido una “tecnología de último recurso durante décadas”. Debido, por una parte, a los malos entendidos acerca de la misma (fundamentalmente como un resultado de asociaciones equivocadas con la contaminación nuclear) y, por otra, a una ausencia extendida del conocimiento de sus beneficios potenciales a la sociedad, se han postulado argumentos de una manera rutinaria y con éxito para posponer su introducción. La desinformación existente ha contribuido a extender una mala reputación de la irradiación de alimentos. Como resultado de ello, la irradiación de alimentos ha quedado a menudo apartada para utilizarla solamente cuando todo lo demás fallaba o después de no encontrar otra solución a los problemas específicos del procesado de alimentos. Aparentemente, este tiempo ha llegado.

En la Unión Europea, la única lista de alimentos o ingredientes alimentarios autorizados para el tratamiento con radiación ionizante es la aprobada por la Directiva 1999/3/CE: “hierbas aromáticas secas, especias y condimentos vegetales”. La ampliación de la lista ha evidenciado la complejidad del asunto a tenor del resultado de la consulta enviada por la Comisión a las organizaciones de consu-

midores y a los sectores industriales en septiembre de 2000 sobre qué productos alimenticios podrían autorizarse para el tratamiento por irradiación.

En este sentido, se ha adoptado una postura de cautela con el inicio de un amplio debate para la aprobación de la lista de productos alimenticios que pueden someterse a la acción de radiaciones ionizantes. Las organizaciones de consumidores fueron muy críticas, cuestionándose el beneficio y la necesidad de la irradiación, abogando por la aplicación correcta de buenas prácticas de higiene o, en su caso, por la aplicación restringida. El sector encargado de la irradiación se pronunció claramente a favor de la autorización para todos los productos que hayan recibido un dictamen favorable por parte del Comité Científico de Alimentos de la UE.

Los principales argumentos se basan en que la comunidad científica considera la irradiación de alimentos como segura y que, además, contribuye a aumentar la protección del consumidor destruyendo microorganismos patógenos en los alimentos. La industria alimentaria y, en particular, los productores y distribuidores de productos cárnicos, frutos secos y hortalizas secas, patatas, productos lácteos, copos de cereales y té, se mostraron en contra de incluir sus productos en la lista. Esta posición se argumentó basándose en el efecto negativo que ello tendría para sus productos, en la desconfianza actual del consumidor frente a estos métodos y en la necesidad de dar prioridad a los sistemas de análisis de peligros y puntos de control crítico (APCC).

Algunos Estados miembros de la UE, como Francia, Holanda, Bélgica, Italia o el Reino Unido, han autorizado irradiar toda una serie de alimentos o ingredientes alimentarios que van más allá de los comprendidos en la lista aprobada por la Directiva europea. Francia es el estado con más productos autorizados. Entre ellos, se incluyen cebolla, ajo, hortalizas secas y frutos secos, copos y gérmenes de cereales para productos lácteos, harina de arroz, goma arábica, aves de corral, carne de pollo recuperada mecánicamente, menudillos de pollo, ancas de rana congeladas, clara de huevo, caseína y caseinatos, así como gambas congeladas, peladas o bien descabezadas. En el Reino Unido se han autorizado, entre otros, hortalizas y legumbres, frutas (incluidos hongos, tomate y ruibarbo), aves de corral (aves domésticas, gansos, patos, pintadas, palomas, codornices y pavos) y pescados y mariscos (incluidos anguillas, crustáceos y moluscos).

Por otro lado, del 5 al 7 de mayo de 2003 se celebró en Chicago el I Congreso Mundial sobre Irradiación de Alimentos, en el que se desarrollaron las siguientes conclusiones y planes de acción, que este grupo de trabajo suscribe íntegramente:

- Cuatro décadas de estudios científicos dirigidos por expertos nacionales e internacionales revelan que la irradiación de alimentos es segura y efectiva y proporciona una calidad nutricional adecuada.
- La irradiación puede aplicarse ampliamente como un tratamiento higiénico y fitosanitario para una gran variedad de alimentos.
- La irradiación es un proceso alimentario admitido en el *Codex Alimentarius* (*Codex General Standard for Irradiated Foods*) y debería considerarse como un proceso, no como un aditivo, por las agencias nacionales reguladoras de alimentos.
- El volumen de alimentos irradiados librados al mercado ha aumentado significativamente en los últimos años, pero la introducción total en el comercio es aún pequeña y el potencial de crecimiento elevado. Liderados por las grandes asociaciones de comercio de alimentos y agricultura, fabri-

cantes de alimentos, proveedores de equipos y servicios de irradiación y las grandes cadenas de venta al por menor, el número de supermercados que ofrecen productos cárnicos irradiados ha aumentado en sólo 3 años, desde 84 a más de 7.000. Casi 2.000 restaurantes, incluidos aquellos que pertenecen a las grandes cadenas de comida rápida o de alimentos listos para su consumo (RTE) están sirviendo carne tratada con radiaciones ionizantes. Sin embargo, las cantidades de alimentos irradiados producidos en Europa han disminuido en los últimos años.

- Un incremento en la conciencia pública acerca de las enfermedades alimentarias y en la responsabilidad de varios sectores de la industria alimentaria ha motivado que ésta última y los consumidores acepten la irradiación de alimentos como una tecnología efectiva de protección frente a las enfermedades de transmisión alimentaria.
- La irradiación como tratamiento fitosanitario está alcanzando una gran importancia, seguida a la reciente introducción de frutas irradiadas procedentes de Hawai en algunas de las grandes cadenas de venta al por menor de Estados Unidos. Algunos países, como Brasil, Chile, México, Sudáfrica y Tailandia se están preparando para exportar fruta irradiada a los Estados Unidos, a raíz de la aprobación del tratamiento fitosanitario de irradiación por la USDA/APHIS en octubre de 2002.
- Con el aumento en las demandas por las autoridades reguladoras de la seguridad alimentaria desde “la granja a la mesa” y la globalización del comercio alimentario, se necesita urgentemente un esfuerzo concertado para comunicar la eficacia de la irradiación como un tratamiento higiénico y fitosanitario a todos los niveles de la industria alimentaria, incluyendo productores, fabricantes, distribuidores y organizaciones de consumidores. Los principales educadores pueden asistir significativamente en esta campaña de información pública.
- Se debe proporcionar una información correcta a los consumidores para que ellos acepten la irradiación de alimentos.
- Los alimentos irradiados deben estar presentes en el mercado para permitir que los consumidores puedan optar por su elección.

La situación, pues, queda pendiente y el grado de confianza del consumidor va a ser decisivo en la solución final. La base normativa se ha establecido y se han impuesto ciertas condiciones que deben cumplirse estrictamente para proteger la salud y la seguridad de los consumidores.

3. Sobre el uso de la irradiación en alimentos

Fue en la década de los 60, cuando “la conservación de alimentos por irradiación alcanzó el umbral de industrialización en varios países desarrollados”, entre ellos España. En fecha 6 de octubre de 1966 se dictó un Decreto (2725/1966) por el que se regulaba la conservación por irradiación de alimentos destinados al consumo humano. En el mismo año se creaba además la Comisión Asesora de Conservación de Alimentos por Irradiación.

En 1966 se completaron estudios de seguridad en 21 alimentos, en los que se usó una dosis de radiación aprobada por la US Food and Drug Administration (FDA) para la esterilización de bacon y carne de cerdo, desinfestación de trigo e inhibición de brotes en la patata. Sin embargo, mientras que en EEUU los estudios sobre seguridad se detuvieron durante 10 años, en Europa el interés aumentó y en 1970 se inició el *Internacional Project in the Field of Food Irradiation* (IFIP). El IFIP recopiló datos

de seguridad de muchos alimentos para que fueran considerados por expertos patrocinados por la ONU, pertenecientes a los comités de suministro de alimentos seguros y del uso pacífico de la energía atómica.

Los diferentes estudios científicos elaborados en 1980 por varios organismos internacionales, como la FAO, la OIEA y la OMS determinaron como segura una dosis máxima de 10 kGy en cualquier producto alimenticio, lo que motivó a la Comisión del *Codex Alimentarius* a adoptar en 1983 una norma general a nivel mundial para alimentos irradiados. La norma fijó condiciones generales para la irradiación de alimentos. Ese mismo año y, fruto de una modificación introducida en el capítulo de “Conservación de alimentos” del Código Alimentario Español, las radiaciones ionizantes se incorporaron como procedimiento de conservación permitido. El tratamiento, sin embargo, debía garantizar la no alteración de las propiedades esenciales de los alimentos. Consistía en someter los alimentos a la acción de radiaciones, generadas por procedimientos autorizados, con el fin de inhibir la germinación de ciertos alimentos vegetales, combatir infestaciones por insectos y contribuir a la destrucción de la microbiota.

El Comité Científico de Alimentación Humana de la UE ha emitido en 1986, 1992, 1998 y 2003 dictámenes favorables sobre la irradiación de alimentos, mostrando su conformidad para el tratamiento de diferentes productos alimenticios, como frutas, hortalizas, cereales, tubérculos, amiláceos, especias y condimentos, pescado, marisco, carnes frescas, carnes de aves de corral, quesos Camembert de leche cruda, ancas de rana, goma arábica, caseína y caseinatos, clara de huevo, copos de cereales, harina de arroz y productos derivados de la sangre. La FDA ha aprobado la irradiación de carne (incluida la de ave) y permite su uso para otros alimentos, como frutas y hortalizas frescas y especias.

Animados por la norma del Codex, 37 países habían aprobado la irradiación a mediados de los 90 en uno o más alimentos. Hay unas 50 plantas en 24 países irradiando alimentos, aunque el volumen tratado es aún pequeño (alrededor de 500.000 Tm en todo el mundo). La irradiación alimentaria aparece bien situada para expandirse y satisfacer una necesidad global.

Sin embargo, en los 80 se produjo también un aumento de desconfianza pública sobre cualquier tecnología asociada con la radiación (sobre todo motivada por el interés del consumidor de productos “naturales”, alimentos mínimamente procesados, productos con garantías oficiales sobre los procesos tecnológicos y, en su caso, por la salubridad de los aditivos utilizados). La oposición pública a la irradiación de alimentos ha sido tan grande que la industria alimentaria ha tomado una actitud prudente hasta tal punto que este proceso tecnológico se está limitando a productos concretos en la mayoría de países.

El 4 de abril de 2001 se aprobó en España la norma que regula la elaboración, comercialización e importación de productos alimenticios e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes. La nueva regulación incorpora al derecho español la Directiva 1999/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de febrero de 1999 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes (Directiva marco) y la Directiva 1999/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de febrero de 1999 relativa al establecimiento de una lista comunitaria de alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes (Directiva de aplicación). La finalidad de ambas Directivas respondía a una pre-

tensión armonizadora de la UE para este tipo de tratamiento en los alimentos que, en ningún caso, puede superar los límites requeridos de protección de la salud humana ni ser sustitutivo de medidas higiénicas, sanitarias o de prácticas correctas de elaboración o cultivo.

La norma aprobada tiene por objeto establecer los principios generales para la elaboración, comercialización e importación de productos alimenticios e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes, así como las obligaciones en relación con el control de los tratamientos. A tales efectos, se concretan en una lista los productos que pueden tratarse con radiaciones ionizantes, estableciendo las fuentes de radiación y las dosis máximas autorizadas a las que pueden someterse. La norma comentada, en el momento de su aprobación, únicamente permite este tipo de tratamiento para hierbas aromáticas secas, especias y condimentos vegetales, para los que se establece un valor máximo de la dosis total media de radiación absorbida de 10 kGy.

La lista no es cerrada, ya que la norma prevé un procedimiento de solicitud para la inclusión de nuevos productos alimenticios. La norma se limita a recoger la lista positiva comunitaria aprobada a escala europea por la Directiva de aplicación. La autorización de la irradiación de productos alimenticios sólo podrá otorgarse si está justificada y es necesaria desde el punto de vista tecnológico, si no presenta riesgos para la salud, suponga un beneficio para el consumidor y no se utilice como sustituto de medidas higiénicas y sanitarias, ni de procedimientos de fabricación o agrícolas correctos.

4. Destrucción de microorganismos por las radiaciones ionizantes

La radiación, tanto ionizante como no ionizante (es decir, un fotón de energía o un electrón) destruye los microorganismos mediante el daño que ocasiona en un elemento crítico que, la mayoría de las veces, es material genético. Este daño impide la multiplicación y también pone fin a muchas funciones celulares. El daño en el material genético tiene lugar como resultado de una colisión directa de la energía radiante en dicho material o como resultado de la ionización de una molécula adyacente, habitualmente agua (Grecz y col., 1983), que interacciona con el material genético.

Además del daño en el material genético, la radiación produce otros efectos resultantes de la interacción directa e indirecta con diversos componentes celulares, como membranas, enzimas y elementos citoplasmáticos. Puede que estas interacciones tengan acción letal por sí mismas pero parece que en la mayoría de los casos no lo son a menos que coexista un daño en el material genético. Estas interacciones pueden jugar un papel decisivo en la supervivencia de las bacterias lesionadas subletalmente, ya que una célula que no ha recibido un daño genético letal puede ser destruida mediante otras formas que complican o impiden la supervivencia de la célula lesionada.

La sensibilidad a la radiación de varios compuestos orgánicos es proporcional a su masa molecular. Sobre la base de esta suposición, se ha estimado que una dosis de 0,1 kGy podría dañar el 0,005% de los aminoácidos, el 0,14% de las enzimas y el 2,8% del ADN en una determinada célula (Pollard, 1966). Es difícil separar los efectos del daño genético de la radiación de la lesión no genética y puede que la diferenciación no tenga valor práctico. Sin embargo, un aspecto importante es que el daño es al azar y no está relacionado con una “diana” genética específica o con un componente celular. Esta circunstancia constituye un importante factor en la explicación de la radiorresistencia de las bacterias, especialmente en relación con la capacidad de las mismas de desarrollar o adquirir resistencia a la radiación.

La eficacia de la mayoría de los procesos antimicrobianos distintos a los químicos que se aplican a los alimentos puede estimarse en términos del número de reducciones decimales (valor D) requeridas para conseguir un predeterminado nivel de seguridad.

Como se puede observar en las tablas 1- 4 (Apéndice I) existe una amplia variación en la sensibilidad de los diferentes organismos frente a la radiación. Sin embargo, las esporas bacterianas son las que presentan la mayor radorresistencia; son más resistentes a la radiación que las células vegetativas, en parte debido a su bajo contenido en humedad. Los niveles reducidos de humedad en las esporas minimizan los efectos secundarios de la radiación, con un resultado neto de un aumento de la radorresistencia. Entre las bacterias de interés sanitario, las gram positivas son, en general, ligeramente más radorresistentes que las gram negativas (compárense las tablas 1 y 2 del apéndice I), con valores D típicos entre 0,4 kGy y 1 kGy (tabla 1) en las primeras y de entre 0,1 kGy y 0,4 kGy las segundas (tabla 2), siendo alguna especie de salmonela la que más se aproxima a los parámetros de las gram positivas, como es el caso de *S. typhimurium* para la que se han descrito valores D en carne del orden de 0,5 kGy (Tarkowski y col., 1984; Thayer y col., 1990 ; Grant y Patterson, 1992).

Los virus no se han investigado de un modo tan amplio como las bacterias. Sin embargo, sí existen algunos datos acerca de la sensibilidad a la radiación de los virus patógenos. Debido a la biología de los virus, lo más notable es el pequeño tamaño molecular de su material genético y un contenido en humedad muy bajo. Los virus humanos incluso son más resistentes a la radiación que las esporas bacterianas. La tabla 3 (apéndice I) presenta valores de D para algunos virus de relevancia para la salud pública.

Entre los parásitos, *Trichinella spiralis* ha sido el más ampliamente estudiado con respecto a la radiación, con un informe de 1921 que indicaba la posibilidad de destruir este parásito con radiación (Schwartz, 1921). Posteriores estudios han mostrado que dosis de 0,3 kGy es suficiente para eliminar, desde un punto de vista sanitario, la presencia del parásito en carne de cerdo (Brake y col., 1985). Otros parásitos, como *Taenia hydatosa* (conocida como *Cysticercus bovis* en ganado), exhibe una relativamente alta resistencia a la radiación, del orden de 3 kGy, (Van Kooy y Robjins, 1968) pero pierde su carácter infectivo a dosis más bajas, de alrededor de 0,4 kGy, (Tolgay y col., 1972). La tabla 4 (apéndice I) presenta datos de las dosis mínimas efectivas para prevenir la infestación de los consumidores por determinados parásitos.

El efecto de la radiación en agentes biológicos patógenos se ve en parte influido por las condiciones ambientales bajo las que el organismo es irradiado. El factor ambiental más significativo es la temperatura a la que tiene lugar la irradiación. El efecto de la temperatura en la letalidad de una dosis determinada de radiación se observa claramente durante la irradiación a temperaturas de congelación y por encima de ella. Como ejemplo, el valor D para *Clostridium botulinum* tipo A es casi 1 kGy más cuando la bacteria es irradiada a temperaturas de congelación en comparación con temperaturas de refrigeración. Quizás, una de las mejores ilustraciones de este efecto es la obtenida con *Escherichia coli* O157:H7, donde el valor D hallado por Thayer y Boyd (1993) casi es el doble a + 5° C (0,28 kGy) que a -5° C (0,44 kGy). Esta investigación muestra claramente la respuesta bifásica de la bacteria a la temperatura, en la que los valores D fueron relativamente constantes a temperaturas por encima de 0°C y fueron, asimismo, relativamente constantes a temperaturas de irradiación por deba-

jo de 0° C. La causa de este cambio en la sensibilidad a la radiación se debe al cambio de estado de las moléculas de agua en la célula. Cuando el agua no está en gran cantidad en forma líquida, los efectos químicos de la radiolisis cambian, minimizándose los efectos secundarios o indirectos de la radiación. Otros factores ambientales pueden afectar también a la radiorresistencia de los microorganismos. La composición del medio en que el microorganismo está suspendido tiene un profundo efecto en la sensibilidad a la radiación. Se ha informado (Huhtanen y col., 1989) que el valor D de *Listeria monocytogenes* en un caldo nutritivo era de 0,35 kGy, pero este mismo parámetro en pollo triturado presentaba un valor de 0,77 kGy. Asimismo, se ha observado (Ley *et al.*, 1963) que los valores D para *Salmonella senftenberg* eran de 0,13 kGy en solución tamponada y de 0,56 kGy en harina de hueso. Muchos de estos efectos se han atribuido a los medios de suspensión pero pueden, a nivel muy básico, verse afectados también por la disponibilidad del agua en el medio. Asimismo, la actividad de agua del medio influye significativamente en la radiorresistencia de los microorganismos, aumentando ésta a medida que se reduce aquella. La relación inversamente proporcional entre ambos factores se ha atribuido, al igual que en el caso de la temperatura, a los efectos indirectos de la radiolisis del agua que se ven disminuidos de forma importante (Urbain, 1986; Moseley, 1989).

Las dos preocupaciones que se han enarbolado respecto a la irradiación de microorganismos son el efecto de la reducción de la microbiota natural en un entorno en que pueden existir patógenos supervivientes y el potencial para el crecimiento de los mutantes resistentes a la radiación. El procesado por radiación reduce de manera espectacular las poblaciones de la microbiota autóctona de los alimentos, ya que, en su mayoría, está compuesta por bacterias gram negativas que son muy sensibles a la radiación (Monk y col., 1995). Entre ellas las del género *Pseudomonas* en las que se han descrito valores D de 0,13 kGy en carne magra de vacuno (Maxcy y Tawari, 1973). La preocupación que ha surgido es que esta “limpieza” de los alimentos podría permitir un brote más rápido de las bacterias de incubencia en la salud pública, puesto que las poblaciones más bajas de la microbiota autóctona podrían tener menos efecto antagónico en las bacterias patógenas (Jay, 1995), es decir, existe una menor competencia, con lo que se podría potenciar el crecimiento de los microorganismos supervivientes; entre ellos, los patógenos. Si esto ocurriera, esta hipótesis también podría sustentar la teoría de que los alimentos irradiados podrían ser más sensibles al crecimiento de patógenos si el producto se contamina después de la irradiación. Esta hipótesis aparentemente ha sido refutada, al menos en lo relativo al procesado por irradiación tanto en pollo (Szczawiska y col., 1991) como en carne picada de vacuno (Dickson y Olson, 2001). En ambos casos, las velocidades de crecimiento de salmonelas (pollo o carne de vacuno) y *Escherichia coli* 0157:H7 (carne de vacuno) fueron las mismas en ambas matrices, las no irradiadas y las irradiadas, lo que sugiere que la microbiota autóctona de estos productos normalmente no influye en los parámetros de crecimiento de estas bacterias.

La preocupación por las mutaciones sí podría, en principio, tener relevancia, ya que desde hace muchos años se sabe que la radiación ionizante induce mutaciones en los microorganismos (Muller, 1928). Sin embargo, no se ha observado que la radiación induzca patogenicidad en una bacteria no patógena pero sí se ha mostrado que reduce la virulencia de las mismas (Ingram y Farkas, 1977). La mayoría de las bacterias que sufren mutaciones inducidas por la radiación son más susceptibles al

estrés ambiental, así que un mutante radorresistente podría ser más sensible, por ejemplo, a la acción letal del calor que su cepa pariente no resistente a la radiación.

Se ha demostrado que el tratamiento de los alimentos con radiaciones ionizantes es un método seguro y efectivo para reducir o eliminar peligros biológicos que pudieran estar presentes en los alimentos (WHO, 1994). Se ha mostrado que el proceso puede descontaminar alimentos con una mayor o menor eficacia, dependiendo de la dosis utilizada. El consenso de la información científica disponible sugiere que el proceso de irradiación podría eliminar efectivamente muchos peligros biológicos asociados a los alimentos, sin que se produjeran efectos adversos.

Cuestión y términos en que se plantea

La cuestión que se plantea es analizar, a la luz de los conocimientos actuales, si el tratamiento de los alimentos con radiaciones ionizantes hasta dosis de 10 kGy es apropiado para conseguir una protección eficaz del consumidor europeo en relación con los riesgos microbianos.

Asimismo, se pretende establecer qué bacterias adquieren importancia en relación con la radorresistencia de las mismas y qué dosis de energía se requiere para conseguir los objetivos de seguridad alimentaria (FSO, máxima frecuencia y/o concentración de un peligro microbiano en un alimento en el momento de su consumo que ofrece un adecuado nivel de protección) relativos a estas bacterias en los alimentos.

Evaluación del riesgo

1. Identificación del peligro

En primer lugar, conviene apuntar que las esporas bacterianas presentan una gran radorresistencia, habiéndose descrito, entre las especies de interés en Tecnología de los Alimentos, valores D de 1,3 kGy para la esporas de *Bacillus coagulans* (Anellis y col., 1960), de 1,7 – 2,6 kGy para las de *Bacillus subtilis* (Proctor y col., 1955) y 2,2 kGy para las de *Clostridium sporogenes* PA 3679 (Roberts y Ingram, 1965). En el caso de *Clostridium botulinum* se han ofrecido valores D de entre 2,2 y 5,9 kGy para diversas cepas del tipo A en tampón o distintas matrices alimentarias (Grecz y col., 1971; Anellis y Koch, 1962), de 1,3 – 3,3 para el tipo B suspendido en tampón (Anellis y Koch, 1962) y de 1,3 – 1,4 para el tipo E suspendido en caldo de carne (Schmidt y col., 1962). Aparte de estos datos el SCF (2003) admite, de forma general, que los tipos A y B de *Cl. botulinum* son los más radorresistentes con valores D de hasta 2,79 kGy. Ante estos datos puede concluirse que las esporas de *Cl. botulinum* se encuentran, en contraste con la termorresistencia, entre las más resistentes a las radiaciones, mayor que las tres especies citadas más arriba que son bacterias alterantes de suma importancia en la esterilización por calor. Quiere esto decir que para conseguir la esterilización de un alimento mediante la aplicación de radiaciones ionizantes debería tenerse en cuenta, en aquellos alimentos de actividad de agua elevada (a_w) y pH poco ácido ($> 4,5$), el concepto 12D para la eliminación de *Cl. botulinum* hasta niveles estadísticamente despreciables. Su aplicación es necesaria para la salvaguarda de la salud del consumidor. Serían necesarias dosis muy elevadas (próximas a 50 kGy) para conseguir esa meta. Así lo entiende la FDA que autoriza dosis de 44 kGy para la esterilización de carnes congeladas destinadas exclusivamente a la NASA (Morehouse, 1998). Además de estas circunstancias, habría que tener

en cuentas a bacterias alterantes no esporuladas que, de forma atípica, presentan una gran radiorresistencia. Entre ellas, *Acinetobacter* spp. (Maxcy y col., 1976), *Moraxella nonliquefaciens* (Maxcy y col., 1976), *Moraxella osloensis* (Maxcy y col., 1976), *Streptococcus faecium* (Anellis y col., 1973) o *Deinococcus rans* (antes *Micrococcus radiodurans*) (Duggan y col., 1963), con valores D (kGy) de 4,0-8,1; 5,4-5,8; 4,7-10,0; 0,9-3,8 y 2,7-3,1, respectivamente. Con estos parámetros se requerirían dosis mayores que las necesarias para la destrucción de *Cl. botulinum*. Los cambios sensoriales serían de tal magnitud que haría impracticable el tratamiento. Además, quedaría, tras el procesado, una actividad enzimática residual que degradaría los alimentos durante su almacenamiento.

Se puede extraer una primera conclusión que sería que con dosis de irradiación máximas de 10 kGy sólo se puede pretender una higienización (equivalente a pasteurización) del alimento, lo que implica que los microorganismos a tener en cuenta principalmente son los patógenos no esporulados. Aunque el objetivo primario de la irradiación de alimentos sea su higienización, no cabe duda que, al tiempo, se reduciría la carga de bacterias alterantes, en especial las aerobias gram negativas, con lo que se lograría también un aumento de la vida útil del producto refrigerado. En este sentido, se ha descrito (Niemand y col., 1983) que los niveles de bacterias aerobias y anaerobias presentes en carne picada de vacuno se reducen unos 4 ciclos logarítmicos y casi 5, respectivamente, con dosis de 2,5 kGy, con lo cual la vida útil de este producto (10^7 u.f.c. g^{-1}) se extiende nueve días si la temperatura de almacenamiento es de 4° C.

Al igual que con otras tecnologías, la higienización de un alimento mediante la aplicación de radiaciones ionizantes requiere establecer unas condiciones mínimas de tratamiento que asegure que el número de microorganismos patógenos en el momento de su consumo no supere un determinado objetivo sanitario (los FSO de cada agente patógeno). Como la dosis que habitualmente se aplica no sobrepasa el nivel de 10 kGy, es este valor el que se debe tener en cuenta para analizar la eficacia de las radiaciones ionizantes para conseguir el FSO.

Es necesario, en primer lugar, establecer qué alimentos son susceptibles de ser tratados mediante radiaciones ionizantes y qué microorganismos patógenos son los que adquieren mayor relevancia en los alimentos seleccionados y, posteriormente, conocer los microorganismos que son más radiorresistentes.

Aunque la lista de alimentos e ingredientes alimentarios autorizados en la UE y en España para el tratamiento con radiaciones ionizantes se reduce a unos pocos productos (véase epígrafe E. 3), se va a tener presente la lista de los alimentos autorizados en Francia (epígrafe E. 2) porque es, quizás, el país miembro de la UE que admite un número mayor de alimentos e ingredientes alimentarios. Desde el punto de vista de la seguridad microbiológica es necesario analizar primero qué productos son los más adecuados para la multiplicación de los microorganismos patógenos y cuales pueden vehicularlos con mayor riesgo sanitario. Deben dejarse aparte, pues, aquellos que tengan una baja a_w (por ejemplo, por debajo de la que *Staph. aureus* no puede formar enterotoxinas) y un bajo pH (por ejemplo, el de los cítricos y otras frutas de gran acidez). De la lista de productos autorizados en Francia quedarían al margen las hortalizas secas, frutos secos, cereales, algunos ingredientes y habría que centrar la atención en las carnes (de mamíferos, aves y rana), productos cárnicos (jamón y paleta cocida, jamón curado, mortadelas y otros fiambres, etc.), pescados y mariscos (crustáceos y moluscos) con

a_w y pH aproximados de, respectivamente, 0,98 y 5,5 – 5,9; 0,94 – 0,88 y 4,7 – 6,2; 0,98 y 6,0 y 0,98 y 6,0. Por debajo, de una a_w de alrededor de 0,90 sólo tendría interés *Staph. aureus* por que todavía tendría la capacidad de producir enterotoxinas. Los mohos pueden también sintetizar micotoxinas pero estos microorganismos son más sensibles a las radiaciones ionizantes que las bacterias.

Todos estos alimentos salvo los de a_w más baja (jamón curado y embutidos curados) han de almacenarse bajo refrigeración para evitar su alteración. Por ello, es necesario tener presente fundamentalmente aquellas bacterias que pueden multiplicarse a temperaturas inferiores a unos 5-7° C. Por otra parte, el jamón curado y los embutidos curados no presentan riesgos bacterianos pero cabe la posibilidad que cuando se practique el loncheado para su venta puedan contaminarse con alguna bacteria patógena.

Dejando aparte las esporas bacterianas y los virus y a la vista de las tablas incluidas en el apéndice I, puede deducirse que las bacterias de interés sanitario más radiorresistentes son *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* en las que se han hallado valores D máximos (tabla 1) de 2 kGy y 1,4 kGy, respectivamente, en helado y mozzarella a – 78° C (Hashisaka y col., 1989), de 0,77 kGy (Huhtanen et al, 1989) y 1,06 kGy (Stegeman, 1988) en carne picada y de 0,9 kGy (Patterson, 1989) en carne de pollo para *L. monocytogenes* y de 0,86 kGy en carne para *Staph. aureus* (Thayer et al., 1992). En segundo lugar, figuran las diversas especies de salmonelas, con valores D medios de alrededor de 0,5 kGy (véase tabla 2), con el máximo descrito de 0,567 kGy en carne asada de vacuno (Grant y Patterson, 1992). Las restantes especies no esporuladas que figuran en la tabla son bastante más radiolábiles. En resumen, puede decirse que *L. monocytogenes* y *Staph. aureus* presentan una radiorresistencia similar y que la eficacia de la aplicación de dosis de 10 kGy será siempre en éstas menor que en el resto de las especies y, por tanto, se conseguirá una mayor reducción del número en estas últimas. Son, pues, las dos especies mencionadas las que hay que tener presente para analizar la eficacia de dosis de radiación de 10 kGy.

Atendiendo al carácter de bacteria psicrotrofa que *L. monocytogenes* posee, se considera a esta bacteria la más importante para un análisis de esta naturaleza, ya que no sólo es necesario reducir su número hasta niveles no infectivos sino que, además, hay que tener en cuenta el tiempo de almacenamiento bajo refrigeración que se espera del producto irradiado. No han de preocupar otras bacterias patógenas. Si la dosis de 10 kGy es suficiente para conseguir una adecuada seguridad microbiológica respecto a *L. monocytogenes*, lo será también, no cabe duda, para aquellas bacterias de igual o menor radiorresistencia que, además, pueden controlarse con la refrigeración del producto. Ni siquiera un incremento incontrolado de la temperatura en unos pocos grados (2-3) adquirirían mayor importancia sanitaria que la derivada de la multiplicación de *L. monocytogenes*.

2. Caracterización del peligro

Listeria monocytogenes es el agente causal de una enfermedad que se adquiere por su ingestión con los alimentos aunque también puede transmitirse de la madre al feto. La enfermedad puede ser leve o severa y no cursa, como otras enfermedades intestinales, con fiebre, dolores abdominales, diarrea, etc. sino que se manifiesta, en su versión leve, con fiebre, dolores musculares y, a veces, náuseas. La modalidad grave (invasiva) se caracteriza por fiebre repentina, dolor de cabeza intenso, rigidez del

cuello y mareos, pudiendo invadir el sistema nervioso con la aparición de pérdidas del equilibrio y convulsiones, meningitis y encefalitis y, finalmente, septicemia. Aunque cualquier persona puede adquirir la enfermedad, es muy poco común en niños, jóvenes y adultos con el sistema inmunitario sano pero hay un sector de la población, que se ha calculado en alrededor del 15% (Buchanan y col., 1997), especialmente sensible. Entre estos individuos pueden citarse a embarazadas (pueden abortar o presentar un parto prematuro), recién nacidos (pueden presentar retraso mental e hidrocefalia), inmuno-comprometidos (afectados de cáncer, sida, trasplantes, diabetes u otras enfermedades). Son estos individuos los propensos a adquirir la modalidad severa de la enfermedad que en EE.UU. se estima se ven implicadas anualmente alrededor 2.500 personas, de las cuales 500 mueren (CDCP, 2003).

L. monocytogenes está ampliamente distribuida en todos los ambientes (alimentos, vegetación en descomposición, ensilados, agua, suelos, residuos fecales, heces de humanos y animales sanos, etc.) y se ha estimado que entre el 2 y el 6% de los humanos son portadores mudos aunque el papel que estos desempeñan en la diseminación de la enfermedad no se sabe aún (Rocourt, 1999). Los brotes de listeriosis que se han presentado y las investigaciones epidemiológicas han permitido deducir que los alimentos listos para su consumo (RTE) son de alto riesgo para individuos susceptibles. Los alimentos listos para su consumo (RTE) que se contaminan después de haber recibido un tratamiento térmico y se mantienen bajo refrigeración proporcionan un excepcional ambiente para el crecimiento de *L. monocytogenes*, debido a la reducción de la microbiota competitiva; esta situación es más favorable aún si la a_w se sitúa en los niveles de 0,92 - 0,94 a la que muchos de los microorganismos alterantes de carácter psicrotrofo no pueden multiplicarse o lo hacen lentamente. Por otra parte, *L. monocytogenes* se adhiere fuertemente a la superficie de las carnes y otros alimentos y es difícil eliminarla o inactivarla. *L. monocytogenes* se multiplica fácilmente en los productos refrigerados, incluso los envasados a vacío, a pH próximos a 6,0 pero su crecimiento es muy lento a pH de 5,0 (Farber y Peterkin, 1999; Glass y Doyle, 1989). Las listerias son muy difíciles de eliminar, e incluso de reducir su incidencia, en los establecimientos que elaboran este tipo de productos, debido a que las bacterias se alojan en zonas muy recónditas de los equipos, como juntas, válvulas, etc. donde puede persistir durante años y en cualquier momento puede contaminar el alimento, incluso si el producto ha estado libre de listerias durante meses (ICMSF, 2002).

No se sabe cual es la dosis infectiva. Sin embargo, los datos publicados (véase apéndice III) indican que se sitúa entre 10^2 y 10^6 u.f.c. g^{-1} (ICMSF, 2002). Aunque *L. monocytogenes* está ampliamente distribuida en todos los entornos y puede aislarse de numerosos alimentos, la listeriosis en humanos es relativamente rara, de 2-3 (Mead y col., 1999) a 5-6 (CDCP, 2000) casos anuales por millón de individuos. Estas circunstancias apoyan la opinión de que las infecciones se producen por dosis elevadas de células de *L. monocytogenes* (Notermans y col., 1998; SCVPH, 1999).

La presencia, pues, de *L. monocytogenes* en los alimentos constituye un grave peligro para los humanos, su radiorresistencia en comparación con otros patógenos no esporulados, unida a otras características (véase apéndice III), especialmente su psicrotrofilia, hacen que esta bacteria sea el microorganismo “diana” para conocer la eficacia higienizante de los tratamientos mediante radiaciones ionizantes a dosis de hasta 10 kGy.

3. Establecimiento del objetivo de seguridad alimentaria (FSO) para *Listeria monocytogenes*

Para conocer la eficacia de la irradiación con dosis de 10 kGy, lo más oportuno quizás sea utilizar los argumentos y los criterios que algunas instituciones (FDA, 1999, 2001; ICMSF, 2002) han empleado para establecer el tratamiento térmico que debe aplicarse para destruir *L. monocytogenes* en salchichas tipo frankfurt.

Aunque la ICMSF (2002) utiliza como modelo las salchichas tipo frankfurt, los criterios y conceptos que se hacen para evaluar el riesgo de *L. monocytogenes* en este alimento son extrapolables a carnes, pescados y mariscos frescos y otros tipo de salchichas como las de tipo bologna, diversas variedades de productos cocidos preparados con pasta fina, como mortadela, galantina, etc., algunos productos lácteos e incluso a paleta y jamón cocidos y también a otros alimentos listos para su consumo (RTE). El tratamiento térmico ($> 75^{\circ}\text{C}$) que desde un punto de vista tecnológico se aplica en la industria (coagular la proteína, formación del gel, fijar el color con el nitrito, destruir bacterias alterantes y patógenas) para fabricar productos cocidos de esta naturaleza es suficiente para destruir *L. monocytogenes* y el resto de patógenos no esporulados. No ha de preocupar, pues, el producto en el que se ha practicado la cocción en el envase y se libra al mercado y se consume inmediatamente una vez abierto el mismo. Sin embargo, otros se envasan tras el calentamiento y muchos de ellos se lonchean para preparar raciones domésticas. En estos casos puede producirse la recontaminación por *L. monocytogenes*. Es un requisito de todos estos productos su almacenamiento bajo refrigeración.

La ICMSF (2002), teniendo en cuenta que *L. monocytogenes* puede multiplicarse en los alimentos listos para su consumo (RTE) refrigerados, concluye que el FSO para los productos RTE relativo a esta bacteria pudiera ser de 100 u.f.c. g^{-1} en el momento de su consumo. Así lo entiende también la UE, especificándolo en el proyecto del reglamento de la Comisión Europea relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios. La ICMSF (2002), en sus deducciones para el cálculo del FSO en frankfurters parte de una tasa original de 1.000 células g^{-1} en la carne. Es una postura conservadora dado que rara vez el producto presenta originalmente una carga de ese nivel. Entonces, aceptando, ese FSO y una tasa original de 1.000 células g^{-1} en el alimento crudo, se necesitaría para conseguir el FSO un tratamiento térmico durante el proceso de fabricación que ocasionara sólo una reducción decimal (1D). Sin embargo, las células de *L. monocytogenes* supervivientes al tratamiento térmico pueden multiplicarse durante el almacenamiento bajo refrigeración, especialmente en alimentos de larga vida útil y en el momento del consumo haber sobrepasado el nivel de 100 u.f.c. g^{-1} . Es necesario asegurar que esta circunstancia no se produce y, por ello, se requiere aplicar un criterio más severo. La ICMSF (2002), asumiendo un incremento no superior a 5 $\log_{10} \text{g}^{-1}$ hasta el momento del consumo, establece que una reducción de 6D sería suficiente y resultaría en ≤ 1 u.f.c. kg^{-1} (es decir 10^{-3}g^{-1}) tras la cocción en caso que se aplique un tratamiento térmico.

Por otra parte, la experiencia indica que es muy común la recontaminación de un determinado alimento procesado durante su manipulación para su venta al detalle, por ejemplo, durante el loncheado o la preparación de piezas para su venta en raciones familiares. *L. monocytogenes*, dada su ubicuidad, es uno de los microorganismos que pueden alcanzar el alimento en estas operaciones y aumentar después su número durante el almacenamiento bajo refrigeración si las condiciones (a_w , pH, etc.) del producto lo permiten.

Tomando una postura conservadora, la ICMSF (2002) estima que una recontaminación en operaciones posteriores a la cocción puede, en el peor de los casos, alcanzar la tasa de 10 células g^{-1} . Lo mismo podría ocurrir durante el loncheado o manipulación de los productos listos para su consumo (RTE). Si se supone que, en los productos que lo permitan, aumenta la tasa de *L. monocytogenes* durante el almacenamiento y distribución en cinco $\log_{10} g^{-1}$, quiere decir que en el momento del consumo existirían 10^6 u.f.c. g^{-1} , un valor totalmente insatisfactorio. Para evitar este incremento y conseguir el FSO se puede hacer uso de un tratamiento con radiaciones ionizantes. Anteriormente se ha mencionado que se requiere reducir la tasa de *L. monocytogenes* en los productos elaborados en una industria hasta situarse en ≤ 1 célula kg^{-1} (es decir 10^{-3} u.f.c. g^{-1}). De acuerdo con la ICMSF (2002), admítase que la recontaminación, en el peor de los casos, es la anteriormente manifestada, es decir, de 10 células g^{-1} . Se conseguiría el nivel final de ≤ 1 célula kg mediante un tratamiento que ocasionara 4 reducciones decimales (4D). Si se supone un crecimiento durante el almacenamiento y distribución igual al anteriormente indicado, es de decir, 5 $\log_{10} g^{-1}$, el producto, en el momento de su consumo, contendría 10^2 u.f.c. g^{-1} , o sea, se alcanzaría el FSO.

En conclusión, la reducción del número de *L. monocytogenes* en los alimentos que requieran refrigeración tras su elaboración podría establecerse, en general, en llegar a 10^{-3} u.f.c. g^{-1} . Para conseguir un adecuado ALOP en los alimentos crudos sería necesario aplicar un tratamiento que logre 6 reducciones decimales (6D) en el número de células. Es un requisito de carácter general, es decir, es el mismo para un procesado con radiaciones ionizantes que con otro tipo de proceso, por ejemplo, una pasteurización por calor. Para alimentos que se contaminan post-proceso, como los listos para su consumo (RTE), se conseguiría, igualmente, el FSO con una reducción menor, de 4D.

4. Consecución del FSO mediante radiaciones ionizantes

Admitiendo, por una parte, que el número original de células de *L. monocytogenes* en cualquier alimento crudo es de 10^3 u.f.c. g^{-1} y que el nivel al final del procesado de 10^{-3} u.f.c. g^{-1} ofrecido por la ICMSF es seguro y, por otra, teniendo en cuenta los valores recogidos en la tabla 1 (apéndice I) sobre la radiorresistencia de *L. monocytogenes* puede decirse que un tratamiento de 10 kGy produciría 7,14 reducciones decimales en el caso del queso Mozzarella, donde se ha descrito el valor D (1,4 kGy) más elevado (excluyendo helados dado que *L. monocytogenes* no puede multiplicarse a la temperatura de almacenamiento de estos productos). Es decir, se lograría siempre el objetivo, ya que el nivel final de listerias sería del orden 10^{-4} u.f.c. g^{-1} (diez veces menor que el requerido). Asimismo, en el caso de carne picada (D máximo 1,06 kGy) un tratamiento similar ocasionaría una reducción de más de 9 D (mil veces menor que el requerido). No han de preocupar, pues, los productos irradiados con 10 kGy que abandonan la industria, ni siquiera con un periodo de almacenamiento bajo refrigeración largo, siempre que el proceso de irradiación se haya efectuado una vez envasado el producto. En el producto no envasado, como canales de aves, provoca una profunda descontaminación, reduciendo los niveles de patógenos hasta tasas extremadamente bajas e, igualmente, disminuyendo el número de bacterias alterantes, con el consiguiente aumento de la vida útil. Sin embargo, pueden producirse contaminaciones post-proceso.

En los productos listos para su consumo (RTE) el tratamiento con dosis de 10 kGy sería mucho más eficaz, ya que sólo se necesitarían 4 reducciones decimales (4D) para llegar al nivel de listerias establecido

De acuerdo con estas conclusiones se podría igualmente conseguir el FSO disminuyendo la intensidad del tratamiento. En los productos cárnicos y de pescado, serían suficientes dosis de alrededor de 6 kGy para lograr el objetivo y en los productos listos para su consumo (RTE) bastarían en torno a 4 kGy. Estos valores son elevados en comparación con los descritos en la bibliografía que, de forma general, indican que con dosis de 2,5 kGy se consigue el control de los patógenos no esporulados (véase, por ejemplo, Rahman, 1997). Es probable que los autores que se citan en ese trabajo no tuvieron en cuenta el carácter psicrotrofo de *L. monocytogenes* y, entonces, el tratamiento se reduciría significativamente. Asimismo, son bastante próximos los permitidos en la práctica para la eliminación de patógenos. Por ejemplo, la FDA autoriza dosis máximas de 3 kGy y 4,5 kGy en carnes de ave y de mamíferos con este fin y si ésta está congelada pueden aplicarse hasta 7 kGy (Morehouse, 1998, Doyle, 1999).

Finalmente, hay que mencionar que este tratamiento también sería adecuado para que deje de preocupar la infestación por los parásitos del pescado *Anisakis* spp., uno de los parásitos más radioresistentes (tabla 4), dado que las larvas pierden la capacidad de penetración con dosis de 4,0 kGy (Acha y Szyfres, 1989) aunque su muerte requiere dosis mayores, del orden de 10 kGy (ICMSF, 1996).

Consideraciones finales

Cuando se considera la seguridad alimentaria de un determinado producto se deben evaluar, además, los cambios químicos, microbiológicos y nutricionales que acaecen en el mismo por el tratamiento aplicado, ya que se puede lograr un alimento seguro pero sus atributos pueden estar tan deteriorados y tan alejados de los propios del alimento fresco que no merezca la pena su procesado. Siempre hay que llegar a un compromiso entre la consecución de un nivel de seguridad adecuado y la retención máxima de las propiedades que caracterizan al producto. En el apéndice II se recogen, de forma resumida, los principales cambios químicos y nutricionales que ocurren durante el tratamiento de los alimentos con radiaciones ionizantes. Brevemente, puede decirse que varios comités internacionales de expertos han considerado la seguridad de los alimentos irradiados y han concluido que, siempre que se sigan buenas prácticas tecnológicas, la irradiación de alimentos hasta 10 kGy no produce peligros toxicológicos ni provoca modificaciones destacables en los microorganismos. Asimismo, los cambios nutricionales son menores o, a lo sumo, comparables con los producidos por otros procesos tecnológicos. De hecho, la OMS, en el I Congreso Mundial sobre Irradiación de Alimentos celebrado en Chicago del 5 al 7 de mayo de 2003, refrendó que el alimento permanece saludable y con una calidad nutricional adecuada con una dosis media de 10 kGy.

Los productos de origen animal, especialmente las carnes y pescados, son más sensibles a las radiaciones ionizantes que otros como las especias, semillas, cereales, etc. (Rahman, 1997). Con más facilidad se desarrollan en ellos olores y sabores anómalos. La dosis umbral para la aparición de estos efectos se han establecido, a la temperatura de 5-10 °C, entre 1,75 kGy para la carne de cerdo y 6,25 kGy para la de cordero, con valores intermedios para la de pollo y vacuno (Sudarnadi y Urbain, 1972). En el caso de carnes curadas no se ha observado el desarrollo de sabores anómalos ni pérdida apreciables de otros atributos organolépticos con tratamientos de 2 kGy (Singh, 1988; Murano y col., 1995) aunque otros autores (Wills y col., 1987) han detectado ligeros cambios en el aroma y sabor de

“corned beef” con tratamiento de 4 kGy. Todos estos cambios no deseables pueden minimizarse irradiando el producto a baja temperatura o en ausencia de oxígeno (Mitchell, 1994). En cualquier caso, hay que apuntar que todos los procesos ocasionan cambios adversos no deseables pero en el caso de la irradiación a dosis máximas de 10 kGy, puede decirse que las modificaciones sensoriales que se producen no son más acusadas que otros métodos de procesado que se aplican habitualmente (p.e., cocinado o pasteurización), ni siquiera en comparación con los más severos de esterilización (Lagunas-Solar, 1995).

Conclusiones

Listeria monocytogenes es la especie no esporulada de mayor relevancia en relación con la higienización de los alimentos mediante radiaciones ionizantes.

La aplicación de radiaciones ionizantes a los alimentos a dosis de 10 kGy consiguen alcanzar perfectamente el objetivo de seguridad alimentaria en relación con las bacterias patógenas no esporuladas.

La potencial contaminación post-proceso de ciertos productos (jamón cocido o curado, mortadela, salmón, quesos etc.) por *L. monocytogenes* (por ejemplo, durante el loncheado, formación de bloques o piezas de tamaño doméstico, etc.) y el carácter psicrotrofo de esta bacteria hace que, en bastantes ocasiones, sea difícil asegurar que el alimento que llega al consumidor posea un número de células inferior a 100 u.f.c. g⁻¹. La aplicación de radiaciones ionizantes (10 kGy) al producto final una vez envasado puede ser un método muy útil para comercializar un producto final seguro en relación con este riesgo sanitario.

Se recomienda aplicar el tratamiento con radiaciones ionizantes a baja temperatura o en atmósferas exentas de oxígeno para minimizar los cambios sensoriales y pérdidas nutricionales que puedan provocar las radiaciones.

Desde el punto de vista toxicológico, los alimentos irradiados con dosis de hasta un máximo de 10 kGy no conducen a efectos adversos para la salud humana.

Referencias

- Acha, P.N. y Szyfres, B. (1989) Zoonoses and communicable diseases common to man and animals. Pan American Health Association 371- 569. Washington D.C.
- Anellis, A., Cichon, C. J. y Raymann, M. M. (1960). Resistance of *Bacillus coagulans* spores to gamma rays. Application of the multiple tube probability method *Food Res.*, 25:285.
- Anellis, A. y Koch, R. B. (1962). Comparative resistance of strains of *Clostridium botulinum* spores to gamma rays *Appl. Microbiol.*, 10: 326-330.
- Anellis, A., Berkowitz, D. Y. Kemper, D. (1973) Comparative resistance of nonsporogenic bacteria to low-temperature gamma-irradiation. *Appl. Microbiol.*, 25: 517-523.
- Brake, R. J., Murrell, K. D., Ray, E. E., Thomas, J. D., Muggenburg, B. A., y Sivinski, J. S. (1985) Destruction of *Trichinella spiralis* by low-dose irradiation of infected pork. *J. Food Saf.*, 7: 127-143.
- CDCP (Centers for Diseases Control and Prevention) (2000). Preliminary FoodNet data on the incidence of foodborne illness-selected sites, United States, 1999. Morbidity and Mortality Weekly Report, 49, 2001 – 2005.
- CDCP (Centers for Diseases Control and Prevention) (2003). Disease information. Listeriosis. Revised 01/12/03. http://www.cdc.gov/ncidod/dbmrd/diseaseinfo/listeriosis_g.htm.
- Dickson, J. S. y Olson, D. G. (1999), Growth of salmonellae in previously irradiated ground beef, Proc. 86th Int. Assoc. Milk Food and Environmental Sanitarians Annual Meeting, Dearborn, M. I.
- Directiva 1999/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de febrero de 1999 relativa a la aproximación de

- las legislaciones de los Estados miembros sobre alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes (Directiva marco) [Diario Oficial L 66 de 13.03.1999].
- Doyle, M. E. (1999) Use of irradiation to control *Listeria* in meat. American Meat Institute Foundation. <http://www.amif.org/AMIFResearch/1AMIrrd.pdf>.
- Duggan, D. E., Anderson, A. W. y Elliker, P. R. (1963) Inactivation of the radiation resistant spoilage bacterium *Micrococcus radiodurans*. 1. Radiation inactivation rates in three substrates and in buffer. *Appl. Microbiol.*, 11: 398-403.
- Farber, J. M. y Peterkin, P. I. (1999). Incidence and behavior of *Listeria monocytogenes* in meat products. En: "Listeria, listeriosis and food safety". 2ª ed. Eds. E. T. Ryser y E. H. Marth. Marcel Dekker, Inc. New York.
- FDA (US Food and drug administration) (1999) Food Code. Washington D.C. US Department of Health and Human Service, Public Health Service. Food and Drug Administration.
- FDA (US Food and Drug Administration) (2001) Food Code. Draft assessment of the relative risk to public health from foodborne *Listeria monocytogenes* among selected categories of ready-to-eat foods. Center for Food Safety and Applied Nutrition. Washington D.C. US Department of Health and Human Service.
- Glass, K.A. y Doyle M. P. (1989). Fate of *Listeria monocytogenes* in processed meat products during refrigerated storage. *Appl. Environ. Microbiol.*, 55:1565 – 1569.
- Grant, I. R. y Patterson, M. F. (1992) Sensitivity of foodborne pathogens to irradiation in the components of a chilled ready meal. *Food Microbiol.*, 9: 95-103.
- Grecz, N., Walker, A. A., Anellis, A. Y. Berwowitz, D. (1971) Effect of irradiation temperature in the range – 196 to 95° C on the resistance of *Clostridium botulinum*. *Can. J. Microbiol.*, 17:135 - 172.
- Grecz, N., Rowley, D. B., y Matsuyama, A. (1983) The action of radiation on bacteria and viruses. En "Preservation of Foods by Ionizing Radiation" 2. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hashisaka, A. E., Weagant, S. D. and Dong, F. M. (1989) Survival of *Listeria monocytogenes* in mozzarella cheese and ice cream exposed to gamma irradiation. *J. Food. Prot.*, 52:490 – 492.
- Huhtanen, C. N., Jenkins, R. K., y Thayer, D. W. (1989) Gamma radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes*. *J. Food Prot.*, 52:610-613.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specification for Foods) (2002). Microorganisms in foods 7. Microbiological testing in food safety management 313 – 332. Kluwer Academic Plenum Publishers & Hall. New York.
- Ingram, M. y Farkas, J. (1977) Microbiology of foods pasteurized by ionizing radiation, *Acta Aliment.* 6:123-185.
- Jay, J. M. (1995) Foods with low numbers of microorganisms may not be the safest foods OR Why did human Listeriosis and Hemorrhagic colitis become foodborne disease? *Dairy Food Environ. Sanit.*, 15:674-677.
- Lagunas-Solar, M (1995). Radiation processing of foods: an overview of scientific principles and current status. *J. Food Prot.*, 58:186 - 192.
- Ley, F. J., Freeman, B. M., y Hobbs, B.C. (1963) The use of gamma radiation for the elimination of salmonellae from various foods. *J. Hyg.*, 61:515-529.
- Maxcy, R. B., Rowley, D. B. y Anellis, A. (1976) Radiation resistance of asporigenous bacteria. Technical Report 76-43. U.S. Army Natick Res. And Dev. Command, Natick. Massachusetts.
- Maxcy, R. B. y Tawari, N. R. (1973) Radiation preservation of foods. International Atomic Energy Agency. Viena.
- Mead, P. S., Slutsker, L., Dietz, V., McCaig, L. F., Bresee, J. S., Shapiro, C., Griffin, P. M., Tauxe, R. V. (1999) Food related illness and death in the United States. *Emerg. Infect. Dis.*, 5:607 – 625.
- Mitchell, G. E. (1994) Irradiation preservation of meats. *Food Aust.*, 46:512-517.
- Monk, J. D., Beuchat, L. R. y Doyle, M. P. (1995) Irradiation inactivation of food-borne microorganisms. *J. Food Prot.* 58:197-208.
- Morehouse, K. M. (1998) Food irradiation: the treatment of foods with ionizing radiation. *FoodTest. Anal.*, 4:9,32,35.
- Moseley, G. W. (1989) Ionizing radiation: injury and inactivation. En: "Mechanisms of action of food preservation procedures" G. W. Gould (ed). Elsevier Applied Science. London.
- Muller, H. J. (1928) Mutations induced in *Drosophila*, *Genetics* 13: 279-287.
- Murano, P. S., Murano, E. A. y Olson, D. G. (1995) Quality characteristics and sensory evaluation of ground beef irradiated under various packaging atmospheres. Inter. Congr. Meat. Sci. Technol. San Antonio. Texas.
- Niemand, J. G., Van der Linde, H. J. y Holzapfel, W. H. (1983) Shelf-life extension of minced beef through combined treatment involving radiation. *J. Food Prot.* 46:791-796.
- Notermans, S., Dufrenne, J., Teunis, P. y Chackraborty, T. (1998). Studies on the risk assessment of *Listeria monocytogenes*. *J. Food Prot.*, 61:244 – 248.
- Patterson, M.F. (1989) Sensitivity of *Listeria monocytogenes* to irradiation on poultry meat and in phosphate buffered saline. *Lett. Appl. Microbiol.*, 8:181-184.

- Pollard, E. C. (1966) Phenomenology of radiation effects on microorganisms, in Encyclopedia of Medical Radiology, Vol. 2(2), Zuppinger, A. (ed.), Springer-Verlag, New York.
- Proctor, B. E., Goldblith, S. A., Oberle, E. M. y Miller, W. C. (1955) Radiosensitivity of *Bacillus subtilis* under different environmental conditions. *Radiat. Res.*, 3:295-303
- Rahman, M. S. (1997) Preservation of foods by irradiation. En: "Handbook of food preservation". S. M. Rahman (ed). Marcel Dekker, Inc. New York.
- Roberts, T. A. y Ingram, M. (1965) Radiation resistance of spores of *Clostridium* species in aqueous suspension. *J. Food Sci.*, 30:879.
- Rocourt, J. (1999). The genus *Listeria* and *Listeria monocytogenes*: phylogenetic position, taxonomy and identification. En: "Listeria, listeriosis and food safety". 2^a ed. Eds. E. T. Ryser y E. H. Marth. Marcel Dekker, Inc. New York.
- SCF (UE Scientific Committee on Food) (2003) Revision of the opinion of the Scientific Committee on Food on the irradiation of food. Expressed 4 April.
- SCF (Scientific Committee on Food) (1998) Opinion of the Scientific Committee on Food on the irradiation of eight foodstuffs. Expressed 17 September.
- SCF (1994) Food irradiation: Use in relation to camembert. Opinion expressed on 19th June 1992. 32nd Series of Reports of the Scientific Committee for Food, EUR 10840, European Commission, Luxembourg.
- SCF (1989) Report on the irradiation of food. Opinion given in March 1986. 18th Series of Reports of the Scientific Committee for Food, EUR 10840, European Commission, Luxembourg.
- Schmidt, C. F., Nank, W. K. y Lechowich, R. V. (1962) Radiation sterilization of foods II Some aspects of the growth, sporulation and radiation resistance of spores of *Clostridium botulinum* type E. *J. Food Sci.*, 27:77 - 84
- Schwartz, B. (1921) Effects of X-rays on trichinae. *J. Agric. Res.*, 20:845-854.
- SCVPH (Scientific committee on veterinary measures relating to public health) (1999) Opinion on *Listeria monocytogenes*. Adopted on 23 September 1999.
- Singh, H. (1988). Radiation preservation of low nitrite bacon. *Radiat. Phys. Chem.*, 31:165
- Stegeman, H. (1988) Radiation resistance of *Listeria monocytogenes*. 10th Inter. Symp. of Listeriosis. Pecs. Hungary. Poster 56:104.
- Sudarnadji, S. y Urbain, W. M. (1972) Flavor sensitivity of selected animal protein foods to gamma radiation. *J. Food Sci.*, 37:671-672.
- Szczawiska, M. E., Thayer, D. W. y Phillips, J. G. (1991) Fate of unirradiated Salmonella in irradiated mechanically deboned chicken meat. *Int. J. Food Microbiol.*, 14:313-324.
- Tarkowski, J. A., Stoffer, S. C. C., Beumer, R. R., y Kampelmacher, E. H. (1984) Low dose gamma irradiation of raw meat. I. Bacteriological and sensory quality effects in artificially contaminated samples. *Int. J. Food Microbiol.*, 1:13-23.
- Thayer, D. W. y Boyd, G. (1993) Elimination of *Escherichia coli* O157:H7 in meats by gamma irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59:1030-1034.
- Thayer, D. W., y Boyd, G. (1992) Gamma ray processing to destroy *Staphylococcus aureus* in mechanically deboned chicken meat. *J. Food Sci.* 57:848-851.
- Thayer, D. W., Boyd, G., Muller, W. S., Lipson, C. A., Hayne, W. C., y Baer, S. H. (1990) Radiation resistance of Salmonella. *J. Ind. Microbiol.*, 5:383-390.
- Tolgay, Z., Teczan, I., Tolgay, M., y Cengiz, A. (1972) Investigations on invasion capacity and destruction of *Cysticercus bovis* in beef treated by ionizing radiation (gamma rays from Co-60). *Turk. Vet. Hekimieri Dernegi* 42:13.
- Urbain, W. M. (1986) Food irradiation. Academic Press, Inc. New York.
- Van Kooy, J. G. y Robjins, K. G. (1968) Gamma irradiation elimination of *Cysticercus bovis* in meat, in Elimination of Harmful Organisms from Food and Feed by Irradiation, International Atomic Energy Agency, Vienna, p.81.
- WHO (World Health Organisation) (1994) Safety and nutritional adequacy of irradiated food, WHO. Geneva.
- Wills, P. A., MacFarlane, J. J., Shay, B. J. y Egan, A. F. (1987) Radiation preservation of vacuum package sliced corned beef. *Int. J. Food Microbiol.*, 4:313 - 322.

Apéndice I

Radiorresistencia de distintos agentes patógenos (puede encontrarse datos adicionales en Ingram y Farkas, 1977, Urbain, 1986 y Monk y col., 1995).

Tabla 1.- Radiorresistencia (valores D) en distintas matrices alimentarias de diversas bacterias gram-positivas de interés sanitario.

Bacteria	Medio	Condiciones	Valor D (kGy)	Referencia
Formadores de esporas				
<i>Bacillus cereus</i>	Queso Mozzarella	– 78° C aeróbicas	3,6	Hashisaka y col., (1990)
	Yogur	–78° C	4,0	Hashisaka y col., (1990)
<i>Clostridium Botulinum</i>	Estofado carne de vaca	20-25° C, tipo E	1,4	Anellis y col., (1977)
	Pollo	–30° C	3,36	Anellis y col., (1977)
<i>Clostridium perfringens</i>	Agua	20-25° C	1,2-1,3	Huhtanen y col. (1989)
No formadores de esporas				
<i>Listeria monocytogenes</i>	Pollo	2-4° C	0,77	Huhtanen y col., (1989)
	Pollo	12°C	0,49	Patterson (1989)
	Carne picada de vaca	12° C	0,5-1,0	El Shenawy y col., (1989)
	Carne picada	–18° C	1,06	Stegeman (1988)
	Mozzarella	–78° C	1,4	Hashisaka y col., (1989)
	Helado	–78° C	2,0	Hashisaka y col., (1989)
<i>Staphylococcus aureus</i>	Aves de abasto	10° C	0,42	Erdman y col., (1961)
	Carne	–	0,86	Thayer y col., (1992)
	Carne de pollo	0° C	0,36	Thayer y col., (1992)

Tabla 2.- Radiorresistencia (valores D) en distintas matrices alimentarias de diversas bacterias gram-negativas de interés sanitario.

Bacteria	Medio	Condiciones	Valor D (kGy)	Referencia
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Pescado triturado	2° C	0,16	Palumbo y col., (1986)
	Pescado triturado	-15° C	0,274	Palumbo y col., (1986)
	Carne de vaca	2° C	0,14-0,19	Palumbo y col., (1986)
<i>Campylobacter jejuni</i>	Caldo BHI	0-5° C	0,27	Lambert y Maxcy (1984)
	Carne picada de pavo	0-5° C, vacío	0,19	Lambert y Maxcy (1984)
	Carne de vaca	2-4° C	0,18	Clavero y col., (1994)
<i>Escherichia coli</i> <i>O157:H7</i>	Carne picada de vaca	-17° C	0,307	Clavero y col., (1994)
<i>Salmonella</i>	Carne picada de vaca	2-5° C	0,241	Clavero y col., (1994)
	Salsa	3° C; <i>S. typhimurium</i>	0,416	Grant y Patterson (1992)
	Carne de vaca asada	3° C; <i>S. typhimurium</i>	0,567	Grant y Patterson (1992)
	Carne picada de vaca	20° C; <i>S. typhimurium</i>	0,55	Tarkowski y col., (1984)
	Pollo deshuesado	- 40° C; <i>S. typhimurium</i>	0,497	
	Pollo deshuesado	- 40° C; <i>S. typhimurium</i>	0,533	Thayer y col., (1990)
	Pollo deshuesado	- 40° C; aire; <i>S. enteritidis</i>	0,534	Thayer y col., (1990)
	Pollo deshuesado	- 40° C; aire; <i>S. newport</i>	0,436	Thayer y col., (1990)
	Pollo deshuesado	40° C; aire; <i>S. anatum</i>	0,542	Thayer y col., (1990)
	Huevo líquido	Congelado <i>S.seftenberg</i>	0,47	Thayer y col., (1990)
	Huevo líquido	Congelado <i>S.gallinarum</i>	0,57	Ley y col., (1963)
				Ley y col., (1963)
<i>Shigella</i>	Ostras	<i>S. dysenteriae</i>	0,40	Quinn y col., (1967)
	Carne de cangrejo	<i>S. dysenteriae</i>	0,35	Quinn y col., (1967)
	Ostras	<i>S. flexneri</i>	0,26	Quinn y col., (1967)
	Carne de cangrejo	<i>S. flexneri</i>	0,22	Quinn y col., (1967)
	Ostras	<i>S. sonnei</i>	0,25	Quinn y col., (1967)
	Carne de cangrejo	<i>S. sonnei</i>	0,27	Quinn y col., (1967)
<i>Vibrio</i>	Langostinos	-	-	
	Congelados	<i>V. cholerae</i>	0,11	Hau y col., (1967)
	Gamba congelada	<i>V. parahaemolyticus</i>	0,1	Bandekar y col., (1987)
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Carne picada de vaca	25 °C	0,2	El-Zawahry y Rowley (1979)
	Carne picada de vaca	- 30 °C	0,39	El-Zawahry y Rowley (1979)
	Carne picada	-	0,1-0,21	Kampelmacher (1983)

Tabla 3 .- Radiorresistencia (valores D) en distintas matrices alimentarias de diversos virus de relevancia para la salud pública.

Virus	Medio	Condiciones	Valor D (kGy)	Referencia
Coxsackie	Carne de vaca cruda y cocida	– 90-16° C	6,8-8,1	Sullivan y col., (1973)
Polio	Pescado	0° C	3	Heidelbaugh y Girón (1969)
Hepatitis A	Ostras	-	2	Mallet y col., (1991)
Rotavirus SA11	Ostras	-	2,4	Mallet y col., (1991)

Tabla 4.- Dosis mínimas efectivas para eliminar la patogenicidad de algunos parásitos alimentarios.

Organismo	Dosis m'nima efectiva (kGy)	Referencia
<i>Toxoplasma gondii</i>	0,4- 0,5	Gamble y Patton, 2000
<i>Fasciola hepatica</i>	0,18	Urbain, 1986
<i>Clonorchis sinensis</i>	0,10	Loaharanu y Murrell, 1994
<i>Angiostrongylus cantonensis</i>	2,0	Loaharanu y Murrell, 1994
<i>Cysticercus Bovis (Taenia saginata)</i>	0,4	Tolgay y col., 1972
<i>Cysticercus cellulosae (Taenia solium)</i>	0,2-0,6	Vester y col., 1976
<i>Anisakis spp.</i>	4,0	Acha y Szyfres, 1989
<i>Entamoeba histolytica</i>	0,25	Loaharanu y Murrell, 1994
<i>Trichinella spiralis</i>	0,1-0,3	Brake y col., 1985

Referencias

- Acha, P. N. y Szyfres, B. (1989) Zoonoses and communicable diseases common to man and animals.. Pan American Health Association 371- 569. Washington D. C.
- Anellis, A., Berkowitz, D., y Kemper, D. (1977) Comparative radiation death kinetics of *Clostridium botulinum* spores at low-temperature gamma irradiation. *J. Food Prot.* **40**:313-316.
- Bandekar, J. R., Chander, R., y Nerkar, D. P. (1987) Radiation control of *V. parahaemolyticus* in shrimp. *J. Food Prot.* **8**:83-88.
- Brake, R. J., Murrell, K. D., Ray, E. E., Thomas, J. D., Muggenburg, B. A., y Sivinski, J. S. (1985) Destruction of *Trichinella spiralis* by low-dose irradiation of infected pork. *J. Food Saf.*, **7**: 127-143.
- Clavero, M. R. S., Monk, J. D., Beuchat, L. R. Doyle, M. P. y Brackett, R. E. (1994) Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, salmonellae and *Campylobacter jejuni* in raw ground beef gamma irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.* **60**:2069-2075.
- Gamble, H. R. y Patton, S. (2000) Pork safety. Toxoplasmosis. National Pork Producers Association/American Meat Science Association. Des Moines. Iowa. <http://www.porkscience.org/documents/Other/toxoplasma.pdf>
- El-Shenawy, M. A., Yousef, A. E., y Marth, E. H. (1989) Radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes* in broth or in raw ground beef. *Lebensm.-Wiss. U. Technol.* **22**:387-390.
- El-Zawahry, Y. A. y Rowley, D. B. (1979) Radiation resistance and injury of *Yersinia enterocolitica*. *Appl. Environ. Microbiol.* **37**:50-54.
- Erdman, I. E., Thatcher, F. S., y McQueen, K. F. (1961) Studies on the irradiation of microorganisms in relation to food preservation. I. The comparative sensitivities of specific bacteria of public health significance. *Can. J. Microbiol.* **7**:199-205.
- Grant, I. R. y Patterson, M. F. (1992) Sensitivity of foodborne pathogens to irradiation in the components of a chilled ready meal. *Food Microbiol.* **9**:95-103.
- Hashisaka, A. E., Matches, T. R., Batters, Y., Hungate, F. P., y Dong, F. M. (1990) Effects of gamma irradiation at -78° C on microbial populations in dairy products. *J. Dairy Sci.* **55**: 1284-1289.
- Hau, L. B., Liew, M. H., y Yeth, L. T. (1992) Preservation of grass prawns by ionizing radiation. *J. Food Prot.* **55**:198-202.
- Heidelberg, N. D. y Giron, D. J. (1969) Effect of processing on recovery of poliovirus from inoculated foods. *J. Food Sci.* **34**:239-241.
- Huhtanen, C. N., Jenkins, R. K., y Thayer, D. W. (1989) Gamma radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes*. *J. Food Prot.* **52**:610-613.
- Ingram, M. Y. Farkas, J. (1977) Microbiology of food pasteurized by ionising radiation. *Acta Alim.* **6**:123 – 185.
- Kampelmacher, E. H. (1983) Elimination of Salmonella and other pathogens by gamma irradiation. *Food Irrad. Newsl.* **7**:4.
- Lambert, J. D. y Maxcy, R. B. (1984) Effect of gamma radiation on *Campylobacter jejuni*. *J. Food Sci.* **49**: 665-667.
- Ley, F. J., Freeman, B. M., y Hobbs, B. C. (1963) The use of gamma radiation for the elimination of salmonellae from various foods. *J. Hyg.* **61**:515-529.
- Loaharanu, P. (2003) First World Congress on Food Irradiation: Meeting the Challenges of Food Safety and Trade. Summary Report. <http://www.foodsafe.msu.edu>
- Loaharanu, P. y Murrell, D. (1994) A role for irradiation in the control of foodborne parasites. *Trends Food Sci. Nutr.*, **5**:190-195.
- Mallet, J. C., Beghian, L. E., Metcalf, T. G., y Kaylor, J. D. (1991) Potential of irradiation technology for improved shellfish sanitation. *J. Food Saf.* **11**:231-245.
- Monk, J. D., Beuchat, L. R. y Doyle, M. P. (1995). Irradiation inactivation of food-borne microorganisms. *J. Food. Prot.* **58**:197 – 208.
- Palumbo, S. A., Jenkins, R. K., Buchanan, R. L., y Thayer, D. W. (1986) Determination of irradiation D value for *Aeromonas hydrophila*. *J. Food Prot.* **49**:189-191.
- Patterson, M. F. (1989) Sensitivity of *Listeria monocytogenes* to irradiation on poultry meat and in phosphate buffered saline. *Lett. Appl. Microbiol.* **8**:181-184.
- Quinn, D. J., Anderson, A. W., y Dyer, J. F. (1967) The inactivation of infection and intoxication micro-organisms by irradiation in seafood. Microbiological problems, in Food Preservation by irradiation, International Atomic Energy Agency P1-199/9, Vienna, pp. 1-13.
- Sullivan R., Scarpino, P. V., Fassolitis, A. C., Larkin, E. P., y Peeler, J. T. (1973) Gamma radiation inactivation of coxsackievirus B-2. *Appl. Microbiol.* **22**:61-65.
- Tarkowski, J. A., Stoffer, S. C. C., Beumer, R. R., y Kampelmacher, E. H. (1984) Low dose gamma irradiation of raw

- meat. I. Bacteriological and sensory quality effects in artificially contaminated samples. *Int. J. Food Microbiol.* 1:13-23.
- Thayer, D. W., y Boyd, G. (1992) Gamma ray processing to destroy *Staphylococcus aureus* in mechanically deboned chicken meat. *J. Food Sci.* 57:848-851.
- Thayer, D. W., Boyd, G., Muller, W.S., Lipson, C. A., Hayne, W. C., y Baer, S. H. (1990) Radiation resistance of *Salmonella*. *J. Ind. Microbiol.* 5:383-390.
- Tolgay, Z., Teczan, I., Tolgay, M., y Cengiz, A. (1972) Investigations on invasion capacity and destruction of *Cysticercus bovis* in beef treated by ionizing radiation (gamma rays from Co-60), *Turk. Vet. Hekimieri Dernegi* 42:13.
- Urbain, W. M. (1986) Food irradiation. Academic Press, Inc. New York
- Vester, A., Du Plessis, Ta y van den Heever, L.W. (1976) The effecto of gamma radiation on the cisticerci of *Taenia solium*. *J. Vet. Res.*, 43:23-26

Apéndice II

Atributos de los alimentos irradiados

Radioactividad inducida

El documento de la SCF de 1986 sobre irradiación de alimentos indicaba que no se apreciaba radioactividad inducida en los alimentos que se sometían a este tratamiento, incluso con dosis de 50 kGy, incluso los niveles podían ser más bajos de los determinados en muchos alimentos frescos. No ha habido nuevos conocimientos que destacar de aquella fecha. Si acaso se podría citar un dato de Diehl (1995) que indica que restringiendo la energía máxima de un acelerador de electrones a 10 MeV o de rayos X a 5 MeV no se produce radioactividad inducida ni siquiera con dosis de 50 kGy. De forma similar, Terry y McColl (1992) indicaron que los rayos γ generados por ^{60}Co o ^{137}Cs , las fuentes más comunes de isótopos radiactivos, tampoco ocasionan radioactividad en los productos irradiados, habiéndose observado que tras 24 horas de irradiación las tasas detectadas estaban por debajo de los niveles de interés.

Cambios químicos

La energía radiante emitida produce ionizaciones en el alimento con el que interacciona. A este proceso suele denominarse, “efecto primario”. Como consecuencia del efecto primario (desestabilización) se generan iones y radicales libres que se combinan entre sí o con otras moléculas para formar sustancias ajenas a la composición inicial del producto, lo que se denomina “efecto secundario”, y se prolonga en el alimento, con formación y desaparición de compuestos, hasta lograr la formación de sustancias químicamente estables. Estos fenómenos (efectos primario y secundario) se denominan radiolisis y los nuevos compuestos originados, siempre en cantidades muy pequeñas, se les conoce como productos radiolíticos. Los compuestos radiolíticos no presentan riesgos para la salud. De hecho, se ha comprobado que los mismos compuestos se forman también al realizarse la cocción de los alimentos u otros procesos de conservación.

Cabe mencionar que el efecto en las moléculas es tanto mayor cuanto mayor es su tamaño. Los ácidos nucleicos son las moléculas más complejas de las células. Por tanto la posibilidad que sufran daños directos es muy elevada. Por otra parte, las moléculas de agua cuando son irradiadas dan lugar a radicales libres, con un marcado carácter oxidante o reductor y con una elevada capacidad de reacción. La repercusión de estos radicales es tan importante que se considera que el efecto secundario es tanto más intenso cuanto mayor es el contenido acuoso. Téngase presente que el agua es, en la mayoría de los alimentos, el componente mayoritario. Por ello, la radiolisis del agua es, quizás, uno de los fenómenos que prevalece en el tratamiento de los alimentos mediante radiaciones ionizantes.

Cambios microbiológicos

Todos los procesos físicos tienen el potencial de producir mutaciones en los microorganismos y conducir a un incremento de su resistencia, aumentar su patogenicidad o cambiar rasgos fisiológicos importantes para su identificación. Si el proceso no consigue esterilizar el alimento, los microorganismos supervivientes serán, obviamente, los más resistentes a dicho proceso. El crecimiento posterior de los mismos puede conducir a poblaciones microbianas y riesgos diferentes a aquellos que originalmente existían.

La irradiación no difiere mucho de otros procesos físicos en su potencial de producir cambios microbiológicos. Una excepción puede ser su incapacidad de destruir toxinas presentes antes del procesamiento. Recuérdese al efecto que las enzimas son más radiorresistentes que los microorganismos y las toxinas, como las enzimas, son también de carácter proteico. La FDA no considera que la mutación inducida por la radiación sea un problema con respecto a un incremento de la virulencia o resistencia al calor, ya que no hay evidencia de tales efectos. De hecho, es mucho más probable que la radiación reduzca la virulencia de los patógenos supervivientes (Farkas, 1989). En cualquier caso, en la práctica los riesgos son insignificantes. Siguiendo unas buenas prácticas de elaboración y almacenamiento se asegurará que los alimentos irradiados sean microbiológicamente seguros.

Cambios nutricionales

La irradiación de hasta 10 kGy no altera significativamente el valor nutricional de proteínas, carbohidratos, minerales o grasas saturadas. Las reacciones de oxidación pueden conducir a la pérdida de ácidos grasos insaturados esenciales. Estas reacciones también pueden potenciar las reacciones autoxidativas de los lípidos generando sabores rancios. Por ello, los alimentos con un elevado grado de insaturación no parecen ser apropiados para aplicarles irradiación.

Al igual que la congelación, los tratamientos térmicos, la deshidratación y el almacenamiento, la irradiación causa pérdidas de vitaminas. No todas las vitaminas tienen la misma sensibilidad a la irradiación. Para las vitaminas hidrosolubles, el orden de sensibilidad es generalmente: tiamina > ácido ascórbico > piridoxina > riboflavina > ácido fólico > cobalamina > ácido nicotínico. Para las liposolubles, el orden es: vitamina E > carotenos > vitamina A > vitamina K > vitamina D (WHO, 1994). Se duda que el consumidor pueda desarrollar una deficiencia vitamínica por el consumo de alimentos irradiados. Por ejemplo, la carne de cerdo es una gran fuente de tiamina, la vitamina hidrosoluble más sensible a la irradiación, pero sólo se perdería el 2,3% de ella en la dieta de los americanos si todo la carne de cerdo de los Estados Unidos fuera irradiada (CAST, 1996). Pérdidas con dosis inferiores a 1 kGy son insignificantes. Alrededor de 10 kGy, las pérdidas son comparables a otros procesos. Si los alimentos irradiados van a ser procesados o cocinados, pueden producirse pérdidas adicionales de vitaminas. Por encima de 10 kGy los efectos netos son similares a los producidos en los tratamientos térmicos (Diehl, 1991; Diehl y col., 1991). Muchas investigaciones indican que las pérdidas de vitaminas pueden minimizarse mediante la irradiación en envases exentos de oxígeno o a temperaturas criogénicas entre -20° C y -40° C. (SCF, 2003). Asimismo, las vitaminas son más sensibles en disoluciones acuosas que en matrices alimentarias o en productos deshidratados, como, por ejemplo, en las especias donde son muy resistentes (Murray, 1983).

En conjunto, las consecuencias nutricionales de irradiar un alimento en particular dependerán de:

- Si el alimento es una fuente significativa de nutrientes determinados.
- Si esos nutrientes son sensibles a las radiaciones ionizantes.
- La dosis.
- La matriz en que estén inmersos los nutrientes
- La proporción del alimento irradiado de la dieta.

Aunque hay consumidores con hábitos particulares en su dieta o necesidades que podrían verse afectadas, las consecuencias nutricionales de la irradiación de alimentos serán insignificantes para los individuos sanos que consuman una dieta equilibrada.

En conclusión, varios comités internacionales de expertos han considerado la seguridad de los alimentos irradiados y han concluido que, siempre que se sigan buenas prácticas tecnológicas, la irradiación de alimentos hasta 10 kGy no produce peligros toxicológicos, peligros microbiológicos o nutricionales en especial. De hecho, la OMS, en el I Congreso Mundial sobre Irradiación de Alimentos celebrado en Chicago del 5 al 7 de mayo de 2003, concluyó que el alimento permanece saludable y con una calidad nutricional adecuada con una dosis media de 10 kGy.

Consideraciones toxicológicas

A lo largo de los años se han realizado diferentes evaluaciones sobre la seguridad de los alimentos irradiados. El proceso de irradiación esencialmente aporta pequeñas cantidades de energía al alimento generando muchos productos de radiolisis, pero en muy pequeñas cantidades. Los productos de radiolisis que surgen cuando un alimento se somete a irradiación son generalmente los mismos que los compuestos que se forman cuando el alimento se somete a tratamientos térmicos, incluso en mayores cantidades debido a que la energía aportada al alimento es a menudo mayor que la producida en el proceso de irradiación. Sin embargo, existe evidencia de que ciertos compuestos, como alquilciclobutanonas, se detectan en los alimentos irradiados aunque en bajas cantidades. Estos compuestos, por otra parte, no se encuentran en los alimentos no irradiados. A este tipo de productos se les puede considerar, en opinión del grupo de la OMS, como marcadores de este tratamiento. No obstante, estos compuestos cíclicos también surgen a partir de lípidos cuando se someten a la acción del calor (WHO, 1999a).

La OMS ha evaluado la seguridad de alimentos irradiados con dosis de hasta 10 kGy (WHO, 1980; WHO, 1994). Para evaluar los efectos adversos causados por los alimentos sometidos a irradiación se han llevado a cabo diferentes estudios de toxicidad en animales de laboratorio alimentados con dietas sometidas a distintas dosis de irradiación. Estos estudios incluyen pruebas de toxicidad subcrónica, toxicidad de la reproducción y del desarrollo, toxicidad crónica (incluida carcinogénesis) y genotoxicidad, así como estudios clínicos en humanos.

Bajo el punto de vista toxicológico, los compuestos químicos formados en alimentos irradiados a dosis de hasta 10 kGy no presentan efectos adversos significantes (WHO 1994, Crawford y Ruff, 1996). En 1997, la OMS indicó que los alimentos irradiados con dosis hasta un máximo de 10 kGy no conducen a efectos adversos para la salud humana ni tampoco originan pérdidas de nutrientes que puedan provocar deficiencias nutricionales (WHO, 1997). Los estudios clínicos en el hombre con alimentos irradiados tampoco han mostrado efectos perjudiciales tras su consumo y permiten, por tanto, tener garantías de seguridad con alimentos irradiados con dosis media total máxima de 10 kGy.

Recientemente, el SCP (2003) de la Comisión Europea ha concluido que, por el momento, no existen datos para cambiar este límite de dosis de irradiación de 10 kGy en los procesos tecnológicos de alimentos irradiados como medida de seguridad alimentaria.

Referencias

- CAST (1996) Radiation pasteurization of food. Issue paper, No. 7. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, Iowa.
- Crawford, L. M. and Ruff, E.H. (1996). A review of the safety of cold pasteurisation through irradiation. *Food Control*. 7: 87-97.
- Diehl, J. F. (1991) Nutritional effects of combining irradiation with other treatments. *Food Addit. Contam.* 2:20-25
- Diehl, J. F. (1995) The safety of irradiated food. 2^a ed., Marcel Dekker. Basel.
- Diehl, J. F., Hasselman, C., y Kilcast, D. (1991) Regulation of food irradiation in the European Community: is nutrition an issue?, *Food Cont.*, 2:212-219.
- Farkas, J. (1989) Microbial safety of irradiated foods – Review. *Int. J. Food. Microbiol.* 9: 1-15.
- Murray, D. R. (1983) Nutritional aspects of food irradiation. En: "Recent advances in food irradiation" P.D. Elias y A. J. Cohen (eds.) Elsevier. Amsterdam.
- Renner, H. W., Graf, U., Würgler, F. E., Altmann, H., Asquith, J. C. and Elias, P. S. (1982). An investigation of the genetic toxicology of irradiated foodstuffs using short-term test systems. III. In vivo tests in small rodents and in *Drosophila melanogaster*. *Food Chem. Toxicol.* 20:867-878.
- SCF (UE Scientific Committee on Food) (2003). Revision of the opinion of the Scientific Committee on Food on the irradiation of food. SCF/CS/NF/IRR/24 Final. 24 April 2003.
- Terry, A. J. y McColl, W. G. (1990) Radiological consequences of food irradiation. National Radiological Board. London.
- WHO (1994) Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food, World Health Organization, Geneva.
- WHO (1997). Food irradiation. Press Release WHO/68. September 19, 1997.
- WHO (1999). Food irradiation. Press Release WHO/68. September 19, 1997.
- WHO (1999a). High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. WHO Technical Report Series No: 890. WHO. Geneva.

Apéndice III

Consideraciones particulares acerca de la *Listeria monocytogenes*.

Aunque *L. monocytogenes* se describió hace cerca de 80 años (Murray y col., 1926) y se conocía la listeriosis, la enfermedad transmitida por los alimentos, sin embargo, no adquirió importancia hasta las últimas dos décadas, a raíz del brote que se produjo en Nueva Escocia en 1981 por el consumo de ensalada de repollo, identificándose la contaminación de la hortaliza con estiércol de oveja (Schlech y col., 1983). Es una enfermedad grave que cursa con meningitis, meningoencefalitis, septicemia y abortos, con una mortalidad del 20 – 30% (McLauchlin, 1996, 1997; Rocourt, 1999)

El género *Listeria* consta de 6 especies, de las cuales sólo se considera patógena para los humanos, *L. monocytogenes* aunque *L. ivanovii* es patógena también para ciertos animales, de acuerdo con su LD50 en ratón (Swaminathan, 2001)

L. monocytogenes se encuentra distribuida ampliamente en la naturaleza y resiste bastante bien las condiciones ambientales adversas, incluidas un bajo pH (hasta 4,4) y relativamente elevadas concentraciones de NaCl (10 – 12%). Es anaerobio facultativo y psicrotrofo. Puede multiplicarse entre 0 y 45° C, con unos valores *g* y fases de latencia de, respectivamente, 43, 6,6 y 1,1 horas y 151, 48 y 7,3 horas a 4, 10 y 37° C (Barbosa y col., 1994). Se puede encontrar en superficies húmedas de los equipos industriales, lo que, unido a su facultad de multiplicarse en refrigeración, refleja su presencia en frigoríficos y unidades de refrigeración (ICMSF, 1996). Puede multiplicarse entre valores del pH de 4,4 y 9,6 (Lou y Yousef, 1999). La *a_w* óptima de crecimiento es de 0,97 y la mínima de 0,90, 0,93 (Miller, 1992; Farber y col., 1992) pero puede sobrevivir durante largos periodos a niveles de *a_w* del orden de 0,83 (Swaminathan, 2001). Estas circunstancias hacen que sea casi imposible conseguir un alimento fresco libre de *L. monocytogenes*. De hecho, se han asociado brotes de listeriosis a diversos alimentos. Entre ellos, quesos blandos (Azadian y col., 1989; Bannister, 1987; Linnan y col., 1988), leche pasteurizada contaminada postproceso (Fleming y col., 1985), productos cárnicos (Goulet y col., 1993; Jacket y col., 1995), pescado crudo y marisco (Lennon y col., 1984; Riedo y col., 1994), paté (McLauchlin y col., 1991; Kittson, 1992), ensalada de repollo (Schlech y col., 1983) y de arroz (Salamina y col., 1996) y diferentes alimentos listos para su consumo (RTE) (Kerr y col., 1988; Schwartz y col., 1988; Gilbert y col., 1989; Kaczmarski y Jones, 1989; Kerr y col., 1990). No obstante, la aplicación del sistema APPCC desde la granja al consumidor minimiza el riesgo de enfermedad alimentaria (ICMSF, 1996, 2002).

Los brotes de listeriosis que se han presentado y las investigaciones epidemiológicas han permitido deducir que los alimentos listos para su consumo (RTE) son de alto riesgo para los individuos susceptibles. Muchos de estos alimentos se someten a un tratamiento térmico medio y, normalmente, todos ellos se manipulan extensamente antes de su envasado, pudiéndose contaminar en esta etapa (Kalchayanand y col., 2001). El producto final, se conserva habitualmente bajo refrigeración, ofreciendo una gran oportunidad a *L. monocytogenes* para su multiplicación durante su almacenamiento en la industria, transporte y distribución, exposición en supermercados y, finalmente, en los frigoríficos domésticos. Entre los productos de esta naturaleza están los preparados con leche sin pasteurizar, quesos blandos, etc. y entre los derivados cárnicos, salchichas frankfurt y similares, pastelitos, empanadas, canapés, etc. que contienen carne e ingredientes de origen marino. Estas circunstancias han lle-

vado a algunos países, como Canadá, a que estos alimentos se incluyan como productos de inspección obligatoria, dándole prioridad a los que han originado brotes de listeriosis o a aquellos de vida útil superior a 10 días (Farber, 2000).

En relación con la carne y productos cárnicos, cabe decir que diversos productos listos para su consumo (RTE) cocidos preparados con carne de aves y mamíferos han sido la causa de diversos lotes de listeriosis en Norte América y Europa (Swaminathan, 2001), siendo el caso más grave el ocurrido en Francia en 1992 por el consumo de lengua de cerdo en gelatina en el que se vieron afectadas 279 personas con 85 muertes (Jacket y col., 1995). En EEUU se ha identificado como un factor de riesgo para la presentación de listeriosis alimentaria a frankfurters consumidas sin calentar y a la carne de pollo calentada insuficientemente durante el cocinado (Schwartz y col., 1989). La potencial multiplicación de *L. monocytogenes* en la carne depende del tipo de carne (en la de aves crece mejor que en otras), del pH de la misma y el tipo de población bacteriana de la microbiota competitiva. La contaminación del músculo puede producirse por portadores sintomáticos o asintomáticos a partir del animal después del sacrificio.

L. monocytogenes no se multiplica normalmente durante la fermentación de los embutidos pero con frecuencia se detectan células viables en tasas muy bajas algunas semanas después de que ha finalizado el proceso fermentativo (Truessel y Jemmi, 1989).

Aunque *L. monocytogenes* presenta, entre las bacterias vegetativas, una considerable termorresistencia, no es tan elevada como la de *M. tuberculosis* y, por tanto, se destruye con los tratamientos pasteurizantes aplicados a la leche (72° C, 15 segundos) aunque se ha informado que en salami y grasa aumenta su resistencia frente al calor (Fain y col., 1991). Se han ofrecido valores D a 52° C y 70° C de 100 y 179 minutos y 0,13 y 0,11 minutos en pechuga y muslo de pollo, respectivamente (Mackey y col., 1989); a 54,4° C y 57,2° C de 20 y 6,6 – 9-8 minutos, respectivamente en embutidos fermentados (Schoeni y col., 1991); a 60° C de 3,1 minutos en carne picada (Bradshaw y col., 1985); a 62° C, 64° C, 66° C y 70° C de 2,2 – 2,5, 1,5 – 1,8, 0,68 – 0,95 y 0,16 – 0,20 minutos, respectivamente, en un homogeneizado de pollo (Gaze y col., 1989) e incluso, partiendo de una tasa de 2×10^5 células, se han detectado listerias en muslo de pollo tras un tratamiento a 82,2° C después de un almacenamiento de 4 semanas bajo refrigeración (Carpenter y Harrison, 1989). Como se podría esperar, la presencia de solutos (a_w reducida) aumenta la termorresistencia (Summer y col., 1991; Miller, 1992) y el pH subóptimo para el crecimiento la disminuye (Beuchat y col., 1986).

La incidencia de *L. monocytogenes* en la carne fresca es muy elevada. Por ejemplo, se ha informado que en el Reino Unido el 60% de la carne de pollo vendida al detalle contiene *L. monocytogenes* (Pini y Gilbert, 1988; Petran y Swanson, 1993.) y en Irlanda se ha detectado *Listeria* spp. en el 97% de las más de un centenar de hamburguesas congeladas que se analizaron (Sheridan y col., 1994). En este mismo estudio se observó que no se detectaban listerias en las salchichas que se pre-ensararon y cocieron en la industria pero sí en el 21% del producto cocido que se vendía al detalle sin envasar tras el tratamiento térmico, lo que refleja una contaminación post-proceso. La incidencia en EE.UU. durante el periodo 1993 – 1996 fue de 0 – 2,2% en pastelitos de carne de vacuno; 1,0 - 5,3% en salchichas tipo frankfurt cocidas; 2,2 – 4,67% en salsas para untar y ensaladas y de 5,1 – 81% en jamón y fiambres cocido loncheados (Swaminathan, 2001). En un estudio realizado desde 1992 a 1995 en

mataderos belgas y franceses, siempre se detectó *L. monocytogenes* (>1 u.f.c. 100 cm^{-2} o 25 g) en productos avícolas aunque el porcentaje fue reduciéndose en ese periodo desde el 32,1% en 1992 y 27,2% en 1993 hasta el 3,6% y 2,1% en 1994 y 1995, respectivamente (Uyttendaele y col., 1997). Además, en ese mismo estudio se observó que el 50% de las canales sometidas a ebullición eran portadoras de listerias. De forma similar, la incidencia de *L. monocytogenes* en alimentos cocidos listos para su consumo (RTE) preparados con carne se ha reducido bastante en Canadá donde a partir de 1888 se estableció un plan de vigilancia, pasando del 24% en 1989 – 1990 hasta el 3% en 1991 – 1992 (Farber y Peterkin, 1999).

No se sabe cual es la dosis infectiva aunque ésta depende del estado inmunológico del hospedador. Los experimentos con humanos no pueden realizarse debido a la gravedad de la enfermedad y los estudios en ratas y otros animales de experimentación no son extrapolables al hombre. Sin embargo, los datos publicados indican que la población de *L. monocytogenes* en alimentos causantes de casos epidémicos y esporádicos de brotes es, habitualmente, superior a 100 u.f.c. g^{-1} (SCVPH, 1999), entre 10^2 y 10^6 (ICMSF, 2002). Por ejemplo, en el que se produjo en Francia en 1992 por el consumo de lengua de cerdo en gelatina, el producto de envases sin abrir contenía una carga de listerias de $10^4 - 10^6$ células g^{-1} (McLauchlin, 1996). No obstante, un brote que afectó a 4 individuos por el consumo de mejillones ahumados contenían $1,6 \times 10^7$ u.f.c. g^{-1} (Mitchell y col., 1991). En cualquier caso, no se puede confiar totalmente en los datos publicados porque el número de bacterias puede haber aumentado, o disminuido, entre el consumo y el análisis. En cualquier caso, la baja incidencia de listeriosis en los humanos (2 – 6 casos por millón de individuos (Mead y col., 1999-) sustenta la opinión de que la dosis infectiva es alta (Notermans y col., 1998; SCVPH, 1999).

Referencias

- Azadian, B. S., Finnerty, G. T. y Pearson, A. D. (1989). Cheese borne listeria meningitis in immunocompetent patient. *Lancet* i:322 – 323.
- Barbosa, W. B., Cabedo, L., Wederquist, H. J., Sofos, J. N. y Schmidt, G. R. (1994). Growth variation among species and strains of *Listeria monocytogenes*. *J. Food Prot.*, 57: 765 – 769.
- Beuchat, L. R., Brackett, R. E., Hao, D. Y. Y. y Conner, D. E. (1986) Growth and thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in cabbage and cabbage juice. *Can. J. Microbiol.*, 32: 791 – 795.
- Bradshaw, J. G., Peeler, J. T., Corwin, J. J., Hunt, J. M., Tierney, J. T., Larkin, E. P. y Twedt, R. M. (1985) Thermal resistance of *Listeria monocytogenes* in milk. *J. Food Prot.*, 48: 743 – 745.
- Capenter, S. L. y Harrison, M. A. (1989). Survival of *Listeria monocytogenes* on processed poultry. *J. Food Sci.*, 54: 556 – 557.
- Fain, A. R., Line, J. E., Moran, A. B., Martin, L. M., Lechowich, R. V., Carosella, J. M. y Brown, W. L. (1991) Lethality of heat to *Listeria monocytogenes* Scott A: D-value and z- value determinations in ground beef and turkey. *J. Food Prot.*, 54: 756 – 761.
- Farber, J. M. (2000). Present situation in Canada regarding *Listeria monocytogenes* and ready-to-eat seafood products. *Int. J. Food Microbiol.*, 62: 247 – 251.
- Farber, J. M., Coates, F. y Daley, E. (1992). Minimum water activity requirements for the growth of *Listeria monocytogenes*. *Lett. Appl. Microbiol.*, 15: 103 – 105.
- Farber, J. M. y Peterkin, P. I. (1999). Incidence and behavior of *Listeria monocytogenes* in meat products. En: "Listeria, listeriosis and food safety". 2ª ed. Eds. E. T. Ryser y E. H. Marth. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Fleming, D. W., Cochi, S. L., MacDonald, K. L., Brondum, L., Hayes, P. S., Plikaytis, B. D., Holmes, M. B., Audurier, A., Broome, C. V. y Reingold, A. L. (1985). Pasteurized milk as vehicle of infection in an outbreak of listeriosis. *New Engl. J. Med.* 312: 404 – 407.

- Gaze, J. E., Brown, G. D., Gaskell, D. R. y Banks, J. G. (1989). Heat resistance of *Listeria monocytogenes* in homogenate of chicken, beef steak and carrot. *Food Microbiol.*, 6: 251 – 259.
- Gilbert, R. J., Milleer, K. L. y Roberts, D. (1989). *Listeria monocytogenes* and chilled foods. *Lancet* i, 383 – 384.
- Goulet, V., Lepoutre, A. y Rocourt, J., Courtieu, A. L., Dehaumont, P. and Veit, P. (1993). Epidémie de listériose en France: Bilan final et résultats de l'enquête épidémiologique. *Bull. Epidem. Hebdomadaire* 4: 13 – 14.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specification for Foods) (1996). Microorganisms in foods 5. Microbiological specifications of food pathogens. 299 – 333. Chapman & Hall. London.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specification for Foods) (2002). Microorganisms in foods 7. Microbiological testing in food safety management 313 – 332. Kluwe Academic Plenum Publishers & Hall. New York.
- Jacket, C., Catimel, B., Brosch, R., Buchrieser, C., Dehaumont, P., Goulet, V., Lepoutre, V. y Rocourt, J. (1995). Investigation related to the epidemic strain involved in the French listeriosis outbreak in 1992. *Appl. Environ. Microbiol.*: 61, 2242 – 2246.
- Kaczmarek, E. B. y Jones, D. M. (1989). Listeriosis and ready-cooked chicken. *Lancet* 1: 549.
- Kalchayanand, N., Ray, B., Sikes, T. y Dunne, C.P. (2001). Complete destruction of *Listeria monocytogenes* in hot dogs by hydrostatic pressure and bacteriocin-based biopreservatives. University of Wyoming Annual Science Research Report 2001.
- Kerr, K. G., Dealler, S. F. y Lacey, R. W. (1988). *Listeria* ion cook-chill foods. *Lancet*, 332: 37 – 38.
- Kittson, E. (1992). A case cluster of listeriosis in Western Australia with links to pâté consumption. Procc. 11th Intern Symp. "Problem of listeriosis" 39 – 40. Copenhagen.
- Lennon, D., Lewis, B., Mantell, C. (1984). Epidemic perinatal listeriosis. *Ped. Infect. Dis.*, 3: 30 – 34.
- Linnan, M., Mascola, L., Low, X. D., Goulet, V., May, S., Salminen, C., Hird, D., Yonekura, L., Hayes, P., Weaver, R., Andurier, A., Plikaytis, B. D., Fannin, S. L. Kleks, A. y Broome, C. V. (1988). Epidemic listeriosis associated with Mexican-style cheese. *New Engl. J. Med.*, 319: 823 – 828.
- Lou, Y. y Yousef, A. E. (1999) Characteristics of *Listeria monocytogenes* important to food processors. En: "Listeria, listeriosis and food safety". 2^a ed. Eds. E. T. Ryser y E. H. Marth. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Mackey, B. M., Pritchett, C., Norris, A. and Mead, G. C. (1989). Heat resistance of *Listeria*: strain differences and effects of meat type and curing salts. *Lett. Appl. Microbiol.*, 10: 251 – 255.
- McLauchlin, J. (1996). The relationship between *Listeria* and listeriosis. *Food Control*, 7: 187 – 193. McLauchlin, J. (1997). The pathogenicity of *Listeria monocytogenes*: a public health perspective. *Med. Microbiol*, 8: 1 – 14.
- McLauchlin, J., Hall, S. M., Velami, S. K. y Gilbert, R. J. (1991). Human listeriosis and pâté: a possible association. *Br. Med. J.*, 303: 773 – 775.
- Mead, P. S., Slutsker, L., Dietz, V., McCaig, L. F., Bresee, J. S., Shapiro, C., Griffin, P. M., Tauxe, R. V. (1999) Food related illness and death in the United States. *Emerg. Infect. Dis.*, 5: 607 – 625.
- Miller, A. J. (1992). Combined water activity and solutes effects on growth and survival of *Listeria monocytogenes* Scott A. J. *Food Prot.*, 55: 414 – 418.
- Mitchell, D. L., Misrachi, A., Watson, A. J. y Coleman, D. (1991) A case cluster of listeriosis in Tasmania. *Listeria* in smoked mussels in Tasmania. *Comm. Dis. Intell.* 15: 427.
- Notermans, S., Dufrenne, J., Teunis, P. y Chackraborty, T. (1998). Studies on the risk assessment of *Listeria monocytogenes*. *J. Food Prot.*, 61: 244 – 248.
- Petran, R. L. y Swanson, K. M. J. (1993). Simultaneous growth of *Listeria monocytogenes* and *Listeria innocua*. *J. Food Prot.*, 56: 616 – 618.
- Pini, P. N. y Gilbert, R. J. (1988). The occurrence in the UK of *Listeria* species in raw chicken and soft cheeses. *Int. J. Food Microbiol.*, 6: 317 – 326.
- Rocourt, J. (1999). The genus *Listeria* and *Listeria monocytogenes*: phylogenetic position, taxonomy and identification. En: "Listeria, listeriosis and food safety". 2^a ed. Eds. E. T. Ryser y E. H. Marth. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Riedo, F. X., Pinner, R. W., Tosca, M. L., Cartter, M. L., Graves, L. M., Reeves, M. W., Weaver, R. E., Plikaytis, B. D. y Broome, C.V. (1994). A point-source foodborne listeriosis outbreak: documented incubation period and possible mild illness. *J. Infect. Dis.*, 170: 693 – 696.
- Salamina, G., Dalle Donne, E., Niccolini, A., Poda, G., Cesaroni, D., Bucci, M., Fini, R., Maldini, M., Schuchat, A., Swaminthan, B., Bibb, W., Rocourt, J., Binkin, N. y Salmaso, S. (1996). A foodborne outbreak of gastroenteritis involving *Listeria monocytogenes*. *Epidemiol. Infect.*, 117: 429 – 436.
- Schlech, W. F., Lavinge, P. M., Bortolussi, R. A., Allen, A. C., Haldane, E. V., Wort, A. J., Hightower, A. W., Johnson, S. E., King, S. H., Nicholls, E. S. y Broome, C. V. (1983). Epidemic listeriosis. Evidence for transmission by food. *New Engl. J. Med.*, 308: 203 – 206.
- Schwartz, B., Broome, C. V., Brown, G. R., Hightower, A. W., Ciesielski, C. A., Gaventa, S., Gellin, B. C. y Mascola, L.

- (1988). Association of sporadic listeriosis with consumption of uncooked hot dogs and undercooked chicken. *Lancet* 2: 779 – 782.
- Schwartz, B., Hexter, D., Broome, C., Brown, G.R., Hightower, A., Hirschorn, R., Porter, J., Hayes, P., Bibb, W., Lorber, B y Faris, D. (1989) Investigation of an outbreak of listeriosis: new hypotheses for the etiology of epidemic *Listeria monocytogenes* infections. *J. Infect. Dis.*, 159: 680 – 685.
- SCVPH (Scientific committee on veterinary measures relating to public health) (1999) Opinion on *Listeria monocytogenes*. Adopted on 23 September 1999
- Sheridan, J. J., Duffy, G., McDowell, D. A. y Blair, I. S. (1994). The occurrence and initial numbers of *Listeria* in Irish meat and fish products and the recovery of injured cells from frozen products. *Int. J. Food Microbiol.*, 22: 105 – 113.
- Summer, S. S., Sandros, T. M., Harmon, M. C., Scott, V. N. y Bernard, D. T. (1991) Heat resistance of *Salmonella typhimurium* and *Listeria monocytogenes* in sucrose solutions of various water activities. *J. Food Sci.*, 56: 1741 – 1743.
- Swaminathan, B. (2001). *Listeria monocytogenes*. En: “Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers” 2ª ed. Eds. M. P. Doyle, L. R. Beuchat y T. J. Montville. ASM Press. Washington D.C.
- Truessel, M. y Jemmi, T. (1989). Der verhalten von *Listeria monocytogenes* waehrend der reifung und lagerung von kuenstlich kontaminierter salami und mettwurst. *Fleischwirtschaft* 69: 1586 – 1592.
- Uyttendaele, M. R., Neyts, K. D., Lips, R. M. y Debevere, J. M. (1997). Incidence of *Listeria monocytogenes* in poultry and poultry products obtained from Belgian and French abattoirs. *Food Microbiol.*, 14: 339 – 345.