

"CONSERVACION DE ALIMENTOS POR IRRADIACION"

Miguel Barrachina

AULA CLUB , 19 Enero de 1995

Miguel Barrachina Gómez es Dr. en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense (Premio Extraordinario). Funcionario de carrera desde 1956 a 1989 de la antigua Junta de Energía Nuclear (JEN), hoy día CIEMAT, donde ocupó el cargo de Jefe de la División de Isótopos (desde 1981). Experto del OIEA en diversos países hispanoamericanos (Argentina, Perú y Colombia). Actualmente es Asesor Técnico del Consejo de Seguridad Nuclear.

Publicamos, en esta entrega de los "Jueves Nucleares", el texto de la conferencia pronunciada por el Profesor Barrachina en el Aula Club de la SNE.

PREÁMBULO

Cuando hace un año se convino en el Aula Club dedicar un Jueves Nuclear a este tema, pesaba en mí el recuerdo de los estudios que sobre irradiación de alimentos se hicieron en la antigua Junta de Energía Nuclear, en la década que siguió a 1964, año en el que entró en servicio la fuente NAYADE de cobalto-60 (figuras I y II), para el estudio de los efectos de la radiación sobre la materia.

Eran, aquéllos, tiempos de gran optimismo en las aplicaciones de las fuentes de radiación a la resolución de problemas cotidianos, y quizás ninguno más atrayente que el de paliar las carencias nutricionales que padecen extensas regiones pobladas de la Tierra, mediante la introducción de una nueva técnica nuclear que pretende evitar las cuantiosas pérdidas de productos recolectados, tal cual tienen lugar en los países menos desarrollados.

Pero, toda innovación tiene su momento de entrada en la Historia, y el de la conservación de los alimentos por irradiación parece no haber llegado todavía, pues esta técnica sigue siendo, después de más de 30 años de experi-

mentación, una promesa de futuro y no una realidad acorde con los problemas que potencialmente puede resolver.

¿Cómo se ha llegado a esta paradójica situación de tener una técnica ociosa y no haber avanzado ni un ápice en la resolución de las carencias alimentarias? Aquí, como en otros campos de la Tecnología Nuclear, no se contaba con la fuerza inhibitoria de una opinión pública adversa, capaz de detener la aplicación de cualquier innovación, por perfecta que sea.

En cuanto sigue intentaremos encontrar una explicación a este fenómeno sorpresivo y, para ello, haremos un relato del panorama que se vislumbra desde las atalayas bibliográficas consultadas. Utilizaremos, en dicho relato, la ordenación que imponen las tres unidades clásicas del discurso:

INTRODUCCION, esto es, preparación del contexto en el que debe enmarcarse el nuevo procedimiento de conservación de alimentos;

DESCRIPCION, inventario de las principales características y aplicaciones de la técnica de irradiación; y, finalmente,

EVALUACION, enjuiciamiento crítico del posible ámbito de desarrollo de la técnica, visto desde los intereses de los actores participantes en el sector alimentario.

Por último, cerraremos la exposición extraseando las conclusiones más relevantes y las cuestiones que, a su juicio, sean de interés debatir en el Coloquio.

INTRODUCCIÓN

El problema alimentario global

En 1988 tuvo lugar en Ginebra una Conferencia Internacional sobre La Aceptación, el Control y el Comercio de los Alimentos Irradiados, patrocinada por la Organización de las Naciones Unidas, en cuyo documento final se decía:

- "Todos los gobiernos tienen la obligación de proporcionar suministro suficiente de alimentos inocuos, nutritivos y aceptables, para satisfacer las necesidades de su población".

- Asimismo, "todos los gobiernos deberían sentirse obligados a mejorar el suministro mundial de alimentos", pues es notorio que hay extensas masas de población con agudas carencias nutricionales; y, añadía, a modo de recomendación,

- "Que ningún país podrá alcanzar estos objetivos sin recurrir, en mayor o menor medida, a las técnicas de elaboración y conservación de los alimentos", ya que éstas son imprescindibles para

- reducir las pérdidas de alimentos recolectados,
- suministrar alimentos "fuera de temporada",
- abastecer los grandes centros urba-

nos, que apenas tienen recursos de despensa y están alejados de las áreas de producción.

Todo ello ha dado lugar, en los países más avanzados, a un potente sector industrial de la alimentación, enormemente dinámico, que maneja muchos servicios -fabriles, de mercadotecnia, propaganda, distribución, vigilancia sanitaria, etc.-, que, a la postre, sólo pueden gestionar eficientemente las grandes compañías, nacionales o multinacionales, las cuales tendrán voz muy cualificada y gran poder decisivo a la hora de impulsar o restringir la implantación de una nueva técnica de conservación de alimentos, cual es el caso de la irradiación que nos ocupa.

Acerca de la definición de alimento

Antes de proseguir con la tarea expositiva conviene hacer un alto en el camino, para precisar el significado de nuestro término de referencia, el alimento, que, según el Código Alimentario Español (1974), es "toda sustancia o producto de cualquier naturaleza, sólido o líquido, natural o transformado, que por sus aplicaciones características, componentes, preparación y estado de conservación, es susceptible de ser utilizado, habitual e idóneamente, con alguno de los siguientes fines:

- a) para la normal nutrición humana o como frutivo, y,
- b) en casos especiales de nutrición, como producto dietético para personas con patologías alimentarias.

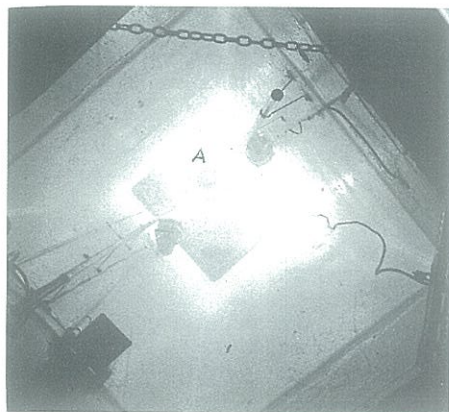
Naturalmente, el valor de los alimentos reside en los nutrientes que contienen, que son las "sustancias útiles para el metabolismo orgánico, y que se corresponden con los grupos genéricamente denominados: proteínas, hidratos de carbono, grasas, vitaminas, sales minerales y agua" (figura III).

Hay que constatar, no obstante, que todos los alimentos son sustancias perecederas, que requieren tratamiento y condiciones especiales de conservación en sus etapas de almacenamiento y distribución; de no ser así, los alimentos sufren deterioro y pueden llegar a perder su condición de inocuidad. Por lo tanto, bien sea por la causa que acabamos de mencionar, bien porque de origen los productos ya no satisfacían la idoneidad requerida, los alimentos pueden recibir diversas calificaciones negativas, como las siguientes:

- Alimentos *alterados*, "cuando hayan sufrido tales variaciones en sus caracteres organolépticos, composición química o valor nutritivo, que haya quedado anulada o sensiblemente disminuida su aptitud para la alimentación";

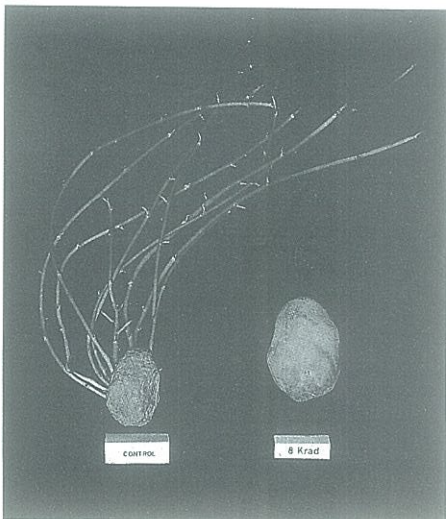
- Alimentos *contaminados*, "cuando contengan gérmenes patógenos, sustancias químicas o radiactivas, toxinas o parásitos, capaces de producir o de transmitir enfermedades al hombre o a los animales";

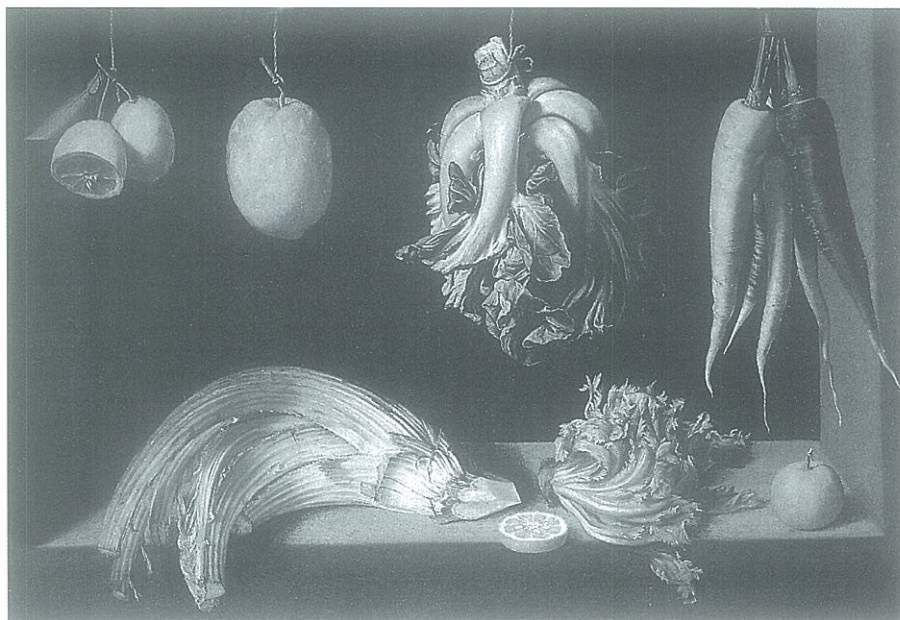
- Alimentos *nocivos*, cuando, entre otras connotaciones, "sus contenidos



FI - Fuente NAYADE. Piscina de irradiación en la cual se encuentran las fuentes de cobalto-60 (A)

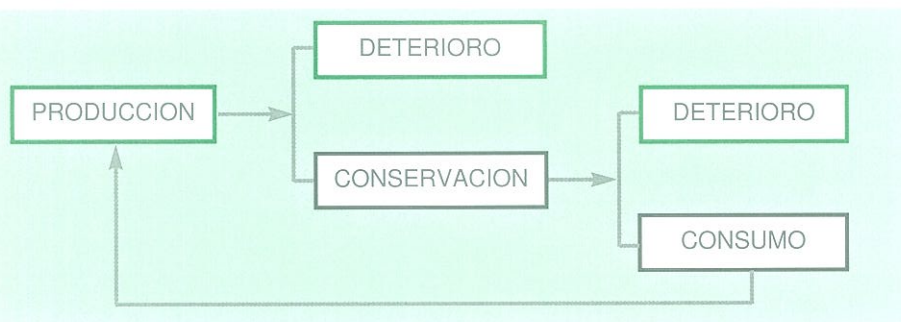
FI - Inhibición de la brotación: 8 krad inhiben completamente el proceso y permiten alargar la vida útil de las patatas





F III - Las frutas y verduras han sido siempre objeto de atención artística, como en este bodegón de Sánchez Cotán, que se conserva en el Museo del Prado de Madrid.

F IV - Ciclo evolutivo de los alimentos. Los procedimientos de conservación permiten extender su vida comercial.



en microorganismos o materias extrañas sean superiores a los límites permitidos para las distintas clases de alimentos".

Y, finalmente, por cuanto aquí concierne, los alimentos *conservados* son aquellos que, "después de haber sido sometidos a tratamientos apropiados, se mantienen en las debidas condiciones higiénico-sanitarias para el consumo humano durante un tiempo limitado".

El deterioro de los alimentos

Según acabamos de esbozar, los alimentos son sustancias perecederas que tienen un ciclo evolutivo característico, que se irá repitiendo periódicamente para satisfacer las necesidades alimentarias de las generaciones presentes y futuras. Este ciclo puede representarse, en su expresión más elemental (figura IV), por una sucesión circular de tres eslabones, con dos salidas hacia el DETERIORO; en donde,

- la PRODUCCION comprende tanto las actividades agropecuarias de cultivo y crianza, generadoras de los nutrientes, como la recolección, pesca, caza o sacrificio (según el producto de

que se trate). Es de señalar, que ya de origen los alimentos "producidos" pueden estar contaminados con gérmenes patógenos, parásitos, productos fitosanitarios, anabolizantes, etc., nocivos para la salud; otras veces, son portadores de gérmenes insectiles, que no sólo destruyen en sus fases larvarias los alimentos hospedantes (frutas, semillas, cereales, etc.), sino que pueden transmitir pestes, en el caso del comercio internacional, desde regiones "contaminadas" a regiones "limpias".

- la CONSERVACION (o tratamiento) abarca todo el conjunto de procesos que se aplican para detener temporalmente el ciclo evolutivo de los alimentos, lo que se consigue:

- parando el "reloj biológico", que dicta la entrada en escena de los enzimas que dan lugar a la maduración de las frutas o a la senescencia de las semillas, tubérculos, etc;
- impidiendo la reproducción de organismos y parásitos espurios, que son la causa principal de DETERIORO de los alimentos.

Y, todo ello, entendido como meras soluciones provisionales antes del CONSUMO, ya que los procedimientos de conservación no hacen sino prolongar

la vida útil de los productos alimentarios, sin poder garantizar su duración indefinida; razón por la cual, los alimentos conservados deben llevar la advertencia de "consumir antes de (una fecha determinada)", en prevención del DETERIORO subsiguiente.

Las infecciones alimentarias

Desde el punto de vista sanitario, las enfermedades más relevantes asociadas a la alimentación son los brotes epidémicos infecciosos, ocasionados por el consumo de productos contaminados con gérmenes patógenos. Estos pueden ser de muy variada índole, pero aquí, por razones de brevedad, los clasificaremos en:

- microorganismos, como las bacterias, virus, hongos, amebas, etc.; y
- parásitos (metazoicos), como las tenias, triquinas, helmintos, artrópodos, etc.

De todos ellos, los que producen infecciones con mayor frecuencia son las bacterias, por la gran difusión y variedad de sus especies, muchas de las cuales son de ámbito telúrico (medio-ambiental) y se encuentran en los músculos e intestinos de los animales sacrificados o en los productos piscícolas de captura costera. A todos nos suenan nombres como las

- *Salmonelas*, que pueden darse en cualquier producto alimentario; con variantes virulentas como las *Salmonelas tífica* y *paratífica*;
- *Campilobácteres*, especialmente en avicultura industrial (pollos, pavos, etc.);
- *Vibrios*, en productos piscícolas, con variantes como la que dio lugar al brote de cólera de Perú en 1991;
- *Clostridios*, presentes en carnes, siendo especialmente conocido por su letalidad el botulínico;
- *Listerias*, en productos cárnicos y avícolas diversos;
- *Toxoplasmas*, endémicos en muchos animales domésticos y silvestres.

Todas estas bacterias generan toxinas (proteínas), que son excretadas al medio (exotoxinas, como la botulínica o la diftérica), o almacenadas como componentes de las membranas celulares, dejando sentir sus efectos en el momento de la lisis de las mismas (endotoxinas, que atacan a los componentes del sistema inmunitario); algunas bacterias, además, pueden resistir condiciones ambientales adversas formando esporas, como el *Clostridium botulinum* (anaeróbico) en presencia de aire u oxígeno.

En las infecciones alimentarias, aparte de sus efectos específicos, lo propio son los trastornos entéricos y diarreicos, de los cuales, nos dice el Anuario Estadístico Español (1992), se producen anualmente unos 25 millones de casos, siendo alrededor de 40.000 las toxoinfecciones graves, con resultado de cerca de 10.000 defunciones

(contabilizando infecciones parasitarias y estados morbosos mal definidos). Estos aspectos sanitarios tienen, evidentemente, unos costes médicos y laborales (pérdida de productividad) muy considerables, que conviene cuantificar, siquiera como contrapartida justificativa de posibles inversiones tendentes a disminuir la incidencia de las infecciones mediante el desarrollo de nuevas técnicas de higienización alimentaria.

La protección inmunitaria

Se trae a colación la acción defensiva del sistema inmunitario porque, casi con toda seguridad debemos a él, las personas sanas la ausencia de infecciones alimentarias por debajo de un cierto umbral de gérmenes patógenos ingeridos; pues, como es bien sabido, las toxinas, y también las bacterias que las generan, son reconocidas por el sistema inmunitario como agentes foráneos (antígenos), contra las cuales se despliega todo un ejército linfocítico, generador de anticuerpos envolventes, y otro de macrófagos, encargado de fagocitarlos.

La pregunta inmediata es: ¿por encima de qué valor (o concentración) de gérmenes patógenos el sistema inmunitario deja de poder controlar la invasión, produciéndose el episodio infeccioso? Estos valores-límite pueden ser considerados como valores máximos de contaminación "inocua" y, por lo tanto, como tope de los niveles permitidos de concentración microbiana según los reglamentos sanitarios.

Ello es importante con vistas a la irradiación, porque permite utilizar esta técnica para "higienizar" los alimentos reduciendo la carga microbiana a niveles inferiores a los permitidos, sin necesidad de llegar a la "esterilización" total, que supondría erradicar hasta el último germen patógeno, a costa del empleo de dosis de radiación más elevadas, con posible aparición de efectos organolépticos negativos.

Naturalmente, esta línea de razonamiento está referida al caso de personas sanas, para quienes la higienización de los alimentos es condición suficiente de garantía de calidad; pero, existen individuos -lactantes, enfermos de sida, enfermos en tratamiento quimioterápico, etc.-, con sistemas inmunes deficitarios, para quienes es necesaria la esterilización de los alimentos, so pena de que contribuyamos a la aparición de infecciones "oportunistas".

Por lo tanto, la higienización (bajas dosis) y la esterilización (altas dosis) tienen sus propios campos de aplicación: el primero, en la conservación de alimentos para el común de la población; y el segundo, para casos especiales, como los enfermos con sistemas inmunes deprimidos o personas en misiones singulares (astronautas, tropas en campaña, etc.).

Los procedimientos de conservación convencionales

La práctica de algunos procedimientos convencionales -secado, ahumado, salado, fermentación, etc.- se pierde en el origen de los tiempos, cuando el hombre descubrió empíricamente que el secado al sol de frutas, el curado de carnes y pescados al humo, a la sal, etc., permitían conservar los alimentos en estado salubre por mucho tiempo. Pero, fue en tiempos relativamente recientes (siglo XIX), cuando un mejor conocimiento del deterioro alimentario permitió desarrollar procedimientos de conservación sobre bases científicas. Este sería el caso de la patente de Nicolás Appert (París, 1810), relativa a "la conservación, por varios años, de todas las sustancias animales y vegetales", mediante el envasado hermético y posterior sometimiento al calor del agua en ebullición, durante un tiempo determinado. Naturalmente, el descubrimiento de Appert fue el fundamento de la industria conservera -productos envasados en recipientes herméticos de vidrio o de metal-, que ahora encontramos con toda naturalidad en los mercados de la alimentación.

Un caso similar es el de la pasteurización de la leche y otras bebidas, por calentamiento a 57°C; pues Luis Pasteur había demostrado que esta temperatura era suficiente para inactivar, en unos minutos, la micobacteria de la tuberculosis, que habitualmente se encuentra en la leche. Ahora, para eliminar también otras bacterias termotables, la pasteurización se realiza a temperaturas más elevadas (Ultra-High-Temperature, UHT, del orden de los 135 a 150°C) y tiempos más cortos (del orden de los segundos), con el resultado de que la vida útil de la leche UHT se cuenta por meses.

En resumen, los procedimientos convencionales de conservación tienen por objeto:

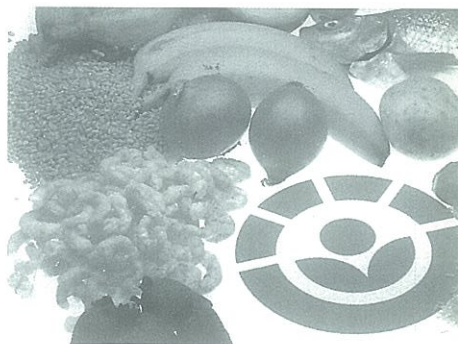
- reducir la respiración oxidativa de los alimentos que soportan vida propia, por aplicación de bajas temperaturas (refrigeración y congelación) o por privación del oxígeno necesario (envasado); o
- crear unas condiciones tales (pH, concentración de electrolitos, antioxidantes, etc.), en el propio alimento, que no permitan el desarrollo microbiano.

A estos procedimientos convencionales vendrá a sumarse ahora la radiación ionizante, que ataca a los microorganismos donde "más les duele", que es la molécula polimérica de ADN, donde están codificadas todas las funciones vitales, incluida la propia reproducción.



FV - Puesto de venta de fresas irradiadas -protégé par ionisation- en Francia

FVI - La irradiación garantiza la seguridad microbiológica de los alimentos. Tal es el caso de la salchicha Nham, que se comercializa en Tailandia.



F VII - Los alimentos irradiados suelen llevar el logo RADURA (figura circular en verde), como símbolo internacional de calidad.

Hedonismo y racionalidad de la nutrición

Antes de terminar esta introducción, es pertinente recordar que entre la percepción del comer como acción placentera, que el arte culinario ofrece a nuestros sentidos, y la realidad científica de la nutrición, media casi siempre un buen trecho; lo cual da lugar a dos visiones arquetípicas, diametralmente opuestas, entre las cuales cabe

interponer todas las percepciones individuales de la alimentación:

- la visión *hedónica*, tipificada ya por Juvenal hace más de 20 siglos, in solo vivendi causa palato est, de quienes la única razón del vivir reside en el paladar;

- y la visión *científica* (o racionalista), mucho menos atractiva, que valora los alimentos por sus nutrientes como portadores de aminoácidos y de energía para construir nuestro organismo y hacerlo funcionar; esta visión racionalista, propia de los responsables de la higiene alimentaria, sale al encuentro de la enfermedad, veniente occurrere morbo, manteniendo bajo sospecha todo alimento como potencial portador de gérmenes patógenos.

Como se puede apreciar, la acción del comer trasciende la mera nutrición y se impregna de signos culturales, que enriquecen nuestro acervo antropológico. Comer no es pues un acto anodino, sino que despierta instintivamente ansias de salud, juventud y longevidad, pudiendo llegar a reflejar nuestra cosmovisión, mediante dietas naturistas, vegetarianas o, simplemente, "verdes"; todo ello, sobre un trasfondo de añorado retorno al mito de la Naturaleza sin manipulación (cultivos biológicos, etc.). Este contraste, es muy enriquecedor, pero, desde nuestro punto de vista, forzoso es quedarnos con la visión racionalista, que es la única que puede afrontar los problemas de salubridad y de suministro suficiente de alimentos que padece buena parte de la Humanidad.

Alineados con este parecer, a continuación describimos las posibilidades que ofrece la técnica de conservación de los alimentos por irradiación, no sin antes subrayar una vez más, a efectos del problema de la aceptación pública de los alimentos irradiados, la enorme diversidad de puntos de vista -culturales, religiosos, instintivos, etc.- que confluyen en el tema alimentario, condicionándolo a veces irracionalmente.

DESCRIPCIÓN

Definición del proceso

La irradiación, como técnica de conservación, está basada en los efectos biológicos que producen las radiaciones ionizantes en los alimentos expuestos a su acción dentro de un intervalo de dosis determinado, que viene dado por la dosis mínima efectiva para conseguir el efecto deseado (desinsectación, higienización, esterilización, etc.) y la dosis máxima a la que aparecen cambios organolépticos inaceptables, causados por radiolisis de los nutrientes.

Las radiaciones que se emplean en la conservación de alimentos son de dos clases:

- fotones X o gamma, de energías inferiores a 5 MeV; o bien,
- electrones acelerados a menos de 10 MeV.

Estas limitaciones en energía tienen por objeto garantizar que la irradiación no induce radiactividad en el alimento, ya que para energías superiores, las secciones eficaces de las reacciones foto y electro-neutrónicas empiezan a ser significativas para los elementos químicos habitualmente presentes en los alimentos.

Por otro lado, la Comisión del CODEX ALIMENTARIUS⁽¹⁾ de las Naciones Unidas ha declarado formalmente (1984) que los alimentos irradiados hasta dosis de 10 kGy no requieren estudios confirmatorios de salubridad, ni idoneidad nutricional, ya que ambos atributos han sido reiteradamente comprobados mediante múltiples estudios previos. Ello no es obstáculo, sin embargo, para que las autoridades de cada país puedan autorizar irradiaciones a mayores dosis, especialmente en los casos de alimentos de bajo contenido hídrico, como las especias y los productos desecados.

La apariencia de los alimentos no cambia por el hecho de la irradiación, como puede apreciarse en las figuras V y VI. El consumidor, por lo tanto, no puede percatarse por sí mismo si un alimento ha sido tratado por irradiación; y, para respetar su libertad de elección entre alimentos irradiados y no irradiados, se ha convenido en la necesidad de que en los primeros figure, en lugar bien visible, una frase como la siguiente este alimento ha sido tratado por irradiación, sin que ello sea óbice para que lleve también el logo RADURA (figura VII), característico de los productos irradiados, que pretende ser un distintivo de calidad alimentaria.

Breve reseña histórica

La irradiación de los alimentos hizo su aparición al término de la II Guerra Mundial, por el interés que tenía la Armada americana en disponer de alimentos esterilizados para misiones tácticas de campaña; y para ello empezó por lo más difícil, la esterilización de alimentos portadores de bacterias esporiformes termorresistentes, como el *Clostridium botulinum*.

Estos estudios -Laboratorio Natick de la Armada, Massachusetts, entre otros- se prolongaron durante toda la década de 1950 y los primeros años de 1960, realizándose toda clase de estudios nutricionales y toxicológicos en animales, e incluso en voluntarios humanos, sin encontrar evidencia de nocividad para la salud; ello permitió concluir al Jefe de Sanidad de la Armada que "los alimentos irradiados hasta dosis absorbidas de 5,6 Mrad (=56 kGy), con fuentes de cobalto-60 o con electrones de energías inferiores a 10 MeV, se ha comprobado que son salubres, esto es, sanos y apropiados para la nutrición".

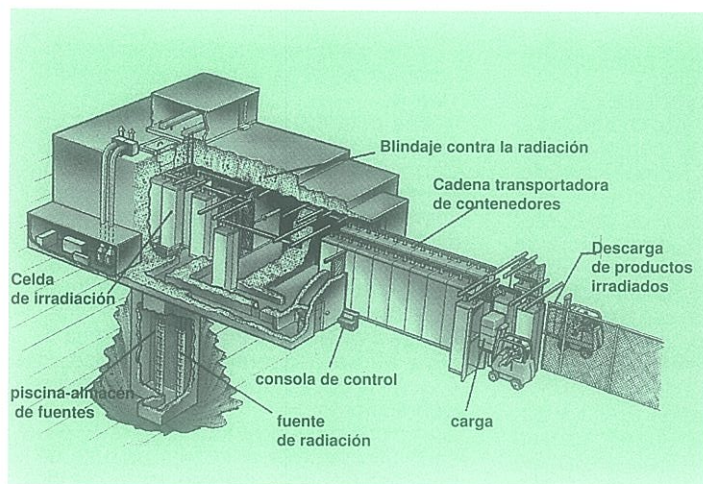
Esta conclusión tuvo gran repercusión posterior, como veremos inmediatamente, no sin antes recordar que el espíritu de apertura iniciado con el discurso del Presidente Eisenhower "Átomos para la Paz", ante la Asamblea General de las Naciones Unidas (1953), hizo que el Congreso de los Estados Unidos de América (EUA) ordenara al Departamento de Energía (DOE) el desarrollo de las aplicaciones civiles de la irradiación, que hicieron su clara aparición en la 2ª Conferencia de Ginebra (1958).

Por entonces tuvo lugar también un hecho anecdótico, que fue la calificación de la operación de irradiación como si de un aditivo alimentario se tratara (Federal Food, Drug, and Cosmetic Act, 1958), lo que va a obligar a que la aprobación de la irradiación de alimentos se tenga que hacer "caso por caso", dando lugar a la apertura de tantos expedientes de alegación pública como productos sean propuestos, y teniendo que reunir el proponente la información científica necesaria para acreditar la seguridad del alimento tratado; esto es, teniendo que justificar la seguridad en todos sus aspectos: radiológico, toxicológico, microbiológico y nutricional. No cabe duda de que este rigor normativo va a actuar, en lo sucesivo, como desincentivante ante cualquier petición empresarial de autorización para tratar alimentos, salvo que el peticionario sea la propia Administración del Estado, que dispone de enormes recursos públicos para ello.

Mientras tanto, retomando el hilo del discurso, había prendido ya la llama del interés internacional, dadas las posibilidades que ofrecía esta nueva técnica de conservación; y, los Organismos especializados de las Naciones Unidas (FAO, OIEA y OMS), designaron comités de expertos para revisar a fondo el cúmulo de datos experimentales existentes, hasta llegar, en 1981, a una conclusión similar a la que había anticipado el Jefe de la Sanidad de la Armada, con la sola diferencia de que se rebajaba el tope superior de irradiación de 56 kGy (esterilización) a 10 kGy (higienización), porque, entre otras razones, para dosis superiores a este valor empiezan a producirse cambios sensoriales inaceptables.

Esta conclusión fue recogida en 1984 en el CODEX ALIMENTARIUS -compendio de recomendaciones de las Naciones Unidas para la alimentación- como Norma General Internacional de los Alimentos Irradiados, que ha pasado a ser de obligada referencia en la autorización del consumo humano por los gobiernos de los distintos países. Así, la Secretaría de Salud y Servicios Humanos de los EUA, Mis Margaret Heckler, aprobó en ese mismo año de 1984, el consumo de alimentos irradiados hasta 10 kGy, sin necesidad de que tuvieran que hacerse estudios nutricionales o toxicológicos complementarios.

(1) Organismo mixto FAO-OIEA-OMS



F VIII - Irradiador de cobalto- 60 (NORDION International Inc., Canadá), del tipo "transportador de contenedores".

A partir de esta toma de posición de los EUA, la irradiación se fue abriendo camino lentamente, siempre con el apoyo de los Organismos de las Naciones Unidas, en la dirección de la higienización de los alimentos de gran consumo, como la carne de pollo, o la desinsectación de frutas, en cumplimiento de requisitos de cuarentena del comercio internacional.

Tecnología de la irradiación

Con la entrada en servicio de los reactores nucleares, después de la II Guerra Mundial, fue posible disponer de importantes cantidades de radionucleidos artificiales (entre ellos, el cobalto-60), con los cuales se pudieron construir grandes instalaciones de irradiación ("irradiadores"), con campos de tasa de dosis relativamente informes, donde poder efectuar la exposición

homogénea de productos alimentarios. Estos irradiadores constan de una celda fuertemente blindada, donde se encuentran los bastidores con las fuentes de cobalto-60, por delante de las cuales se hacen pasar, a velocidad controlada, los contenedores cargados con los alimentos, de modo que éstos reciban la dosis convenida. Alrededor de la celda se disponen los servicios necesarios para el trasiego de los alimentos y para la operación segura de la instalación; y, en todos los casos, hay una piscina o lugar de almacenamiento de las fuentes, para poder intervenir en la celda en el caso de interrupción accidental o programada del proceso (figura VIII).

La actividad total de las fuentes de cobalto-60 suele estar comprendida entre los 50 y 100 kCi, siendo el principal país productor de estas fuentes Canadá (NORDION International Inc.), debido a

la facilidad con que se obtiene el radio-nucleido cobalto-60 en los reactores CANDU, cuya capacidad productora (12 reactores de Ontario Hydro) es de unos 100 MCi/a, superior a la demanda mundial. Las fuentes de cobalto-60 (figura IX), con un período de semidesintegración de 5,27 años, tienen que ser repuestas periódicamente, para compensar el 12,3% de su decaimiento anual; ello, a su vez, origina residuos radiactivos conteniendo una actividad residual del orden del 10%.

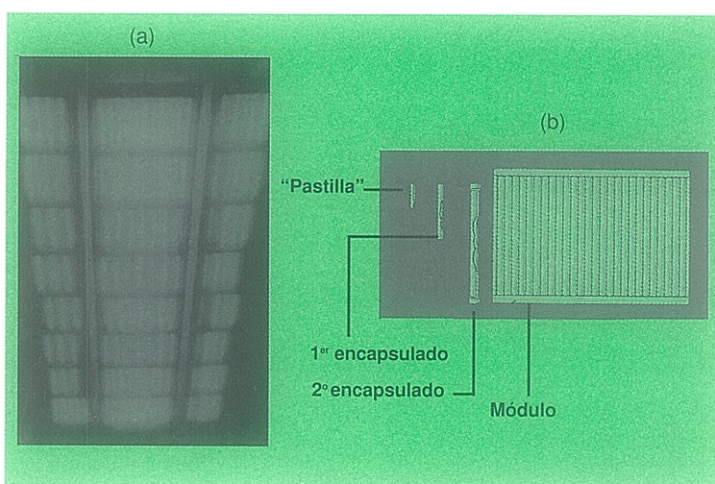
En España no existe ningún irradiador dedicado ex profeso a la conservación de alimentos, aunque el de Aragamma S.A. de Granollers (Barcelona) podría aceptar encargos de irradiación con esta finalidad. En cuanto a la fuente NAYADE del CIE-MAT, el cobalto-60 remanente -unos 5 kCi, según comunicación personal de J. Fuentes- sigue extinguiéndose inexorablemente con el tiempo, pero podría utilizarse todavía para pequeños ensayos de investigación.

Los costes del proceso

Los costes del proceso de irradiación se componen de dos partidas:

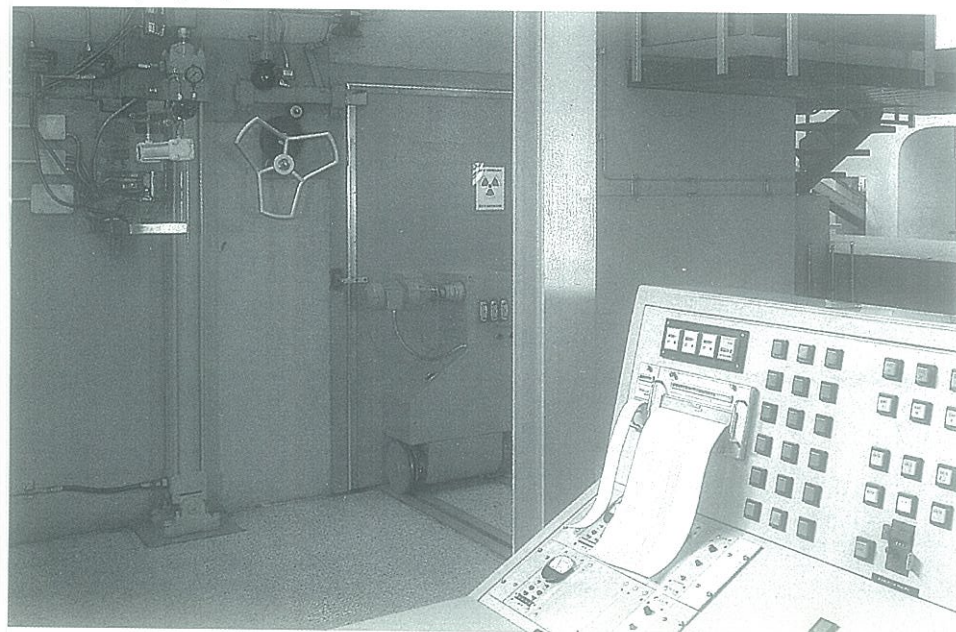
- los de capital, que comprende los intereses del capital invertido para poner la instalación en condiciones de funcionamiento (una inversión que ronda de 2 M\$), y los de amortización; la suma de ambos puede alcanzar 0,5 M\$ por año;
- y los de operación, que comprende todos los ocasionados por el funcionamiento (personal, reposición de cobalto-60, etc.), que pueden llegar a ser del orden de 1 M\$ por año.

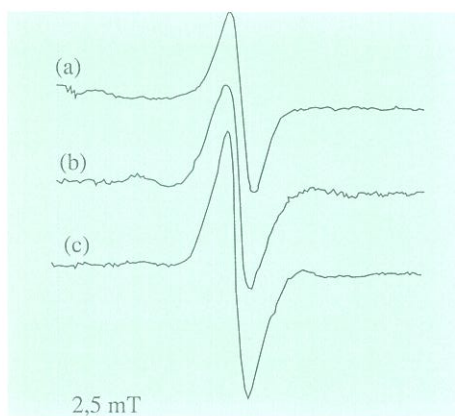
Con estos gastos se podría conseguir una producción nominal de unas 60.000 toneladas anuales (para dosis del orden de 0,15 kGy), lo que daría unos costes unitarios comprendidos entre 15 y 25 dólares/tonelada, o de 10 veces mayores si las dosis fueran del orden de las unidades de kGy. Estos costes se consideran perfectamente



F IX - a) Efecto Cerenkov de un bastidor cargado con módulos de fuentes de cobalto-60 (inmersión en agua). Cada módulo b) está formado por un conjunto de "pastillas" de cobalto-60, doblemente encapsuladas.

F X - Vista parcial del panel de control y puerta de acceso a la celda de irradiación Aragamma S.A. de Granollers (Barcelona), que trabaja fundamentalmente para la esterilización (25kGray) de productos médico-quirúrgicos y farmacéuticos.





FXI - Espectro de resonancia de espín electrónico del pellejo de uvas de Almería (ver Moloney et al., 1992): a) uvas sin irradiar, b) uvas blancas irradiadas a 10 kGy, transcurridas 3 horas, c) ibidem, uvas negras; es muy difícil poner en evidencia que un producto alimentario ha sufrido irradiación suplementaria a la del fondo radiactivo natural.

F XII - Esquema de los efectos de la irradiación sobre los alimentos (=nutrientes+patógenos), destacándose como positivas las lesiones al ADN.



competitivos, comparados con los de otros procedimientos de conservación.

Control administrativo del proceso

Debido a que los alimentos irradiados se destinan al consumo humano, y a que cada producto tiene su propio protocolo de tratamiento autorizado, es necesario que los datos de la irradiación real a que se someta cada partida queden registrados y referenciados (trazabilidad), con vistas a hacer frente a eventuales reclamaciones por fraude alimentario, ya que, una vez concluida la irradiación, no quedan huellas indelebiles en el producto (razón del etiquetado y del logo RADURA), y no puede ser verificado, incluso por métodos analíticos de laboratorio⁽²⁾, si el producto ha sido irradiado y, mucho menos, a qué dosis lo ha sido.

Ello es de suma importancia para no contravenir las leyes de los países que prohíben el consumo de los alimentos irradiados, e incluso, en los países donde están autorizados, para respetar la libre elección del consumidor entre irradiados y no irradiados. Ante esta situación, es necesario insistir en la importancia que adquiere el control

administrativo del proceso, por lo menos en lo que concierne a

- la dosimetría de la radiación, que debe realizarse por procedimientos estándar, internacionalmente reconocidos, como los ASTM (por ejemplo, E-1204-93, E-1261-88, y otros);
- los datos de irradiación de cada partida, de modo que la dosis recibida por cada producto alimentario pueda ser certificada por personas autorizadas en el programa de garantía de calidad de la instalación.

A la vista de esta problemática, la Comisión del CODEX ALIMENTARIUS ha adoptado un Código de Práctica para la Operación de Irradiadores Gamma Usados en el Tratamiento de Alimentos Irradiados (Roma, 1984), que es una referencia de buen hacer, de casi obligado cumplimiento; y, por otro lado, el Grupo Consultivo Internacional Sobre los Alimentos Irradiados (ICGFI, auspiciado también por FAO, OIEA y OMS, para asesorar a los gobiernos) ha propuesto un Registro Internacional de Irradiadores Autorizados para el Tratamiento de Alimentos, donde puedan inscribirse los productores de alimentos irradiados que pretendan acceder, con mayores garantías, al comercio internacional de los mismos.

Efectos positivos y negativos de la irradiación

Las radiaciones penetrantes empleadas, como los fotones gamma de cobalto-60, al atravesar los alimentos dejan, a lo largo de sus trayectorias (y las de los electrones secundarios), regueros de iones positivos y negativos, y de fragmentos moleculares neutros. La mayoría de estos iones y fragmentos tienen electrones desapareados (radicales libres), que son muy lábiles y reaccionan inmediatamente entre sí o con las moléculas del sustrato (nutrientes) para formar diversos productos radiolíticos (que siempre resultan ser compuestos bien conocidos de la Química clásica); sólo en determinados casos, los de los alimentos con estructuras cristalinas asociadas (conchas, huesos, pepitas, cáscaras lignificadas, gránulos silíceos, etc.), pueden los radicales libres sobrevivir durante algún tiempo inmovilizados y ser testigos analíticos de la irradiación sufrida (figura XI).

Como puede apreciarse, estamos ante temas complejos de interacción radiación/materia; estos temas son estudiados en la disciplina Química bajo Radiación (Radiation Chemistry), cuando se trata de sistemas materiales inorgánicos, y en Radiobiología, cuando se refieren a sistemas formados por materia viva. A tal efecto, los alimentos serán considerados como sistemas mixtos, formados por las dos clases de materia mencionadas, esto es:

- los *nutrientes*, como parte inorgánica y macroconstituyente;

- y los *patógenos* (contaminantes microbianos), o parte viva microconstituyente.

Hecha esta distinción, calificaremos de positivos los efectos letales de la radiación sobre el ADN de los patógenos, y de negativos, los efectos radiolíticos sobre los nutrientes; los primeros, positivos, porque son el objetivo propio de este tratamiento de conservación, y los segundos, negativos, porque dan lugar a productos que conducen a alteraciones sensoriales desagradables; en la figura XII se esquematiza este modelo supersimplificado de interacción radiación/alimento.

Como consecuencia lógica de todo ello cabe afirmar, que el interés del uso de la radiación en la conservación de los alimentos se centra en las llamadas curvas de supervivencia de los patógenos frente a la dosis (D), curvas que son, en casos ideales, de naturaleza exponencial decreciente,

$$S = \exp_{-10} (-D/D_{10})$$

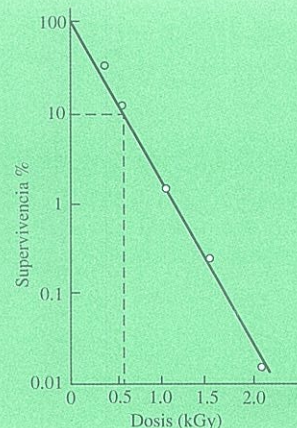
donde S es la probabilidad de supervivencia de un individuo de una especie patógena caracterizada por un parámetro D_{10} (que es la dosis que reduce en un orden de magnitud su población); en la figura XIII puede verse la supervivencia de una variedad de Salmonella, en la que el valor de D_{10} resulta ser del orden de 0,6 kGy, que puede tomarse como representativo de la mayoría de las bacterias.

Con ello, el diseño de las irradiaciones de higienización y esterilización de alimentos deviene muy sencillo: basta saber la concentración inicial de bacterias

T I
Diseño de irradiaciones para $D_{10} = 0,6$ kGy

S	D/ D_{10}	D/kGy
10^{-1}	1	0,6
10^{-2}	2	1,2
10^{-3}	3	1,8
10^{-5}	5	3,0
10^{-10}	10	6,0

FXIII - Curva de supervivencia de una colonia de salmonella.



⁽²⁾ Salvo en productos que contengan estructuras cristalinas (vide infra).

T II Principales aplicaciones de la irradiación de alimentos (P. Loaharanu, IAEA Yearbook, 1989)

Objetivo	Dosis/kGy	Productos
BAJAS		
Inhib. brotación	0,05-0,15	patatas, cebollas, ajos
Desinsectación	0,15-0,50	cereales, legumbres, carnes
Retardo madurac.	0,50-1,0	frutas frescas, verduras
INTERMEDIAS		
Extensión de vida	1,5 -3,0	pescado fresco, fresas
Destruc. microorg.	2,0 -5,0	pollos, carne, mariscos
Mejora propiedades	2,0 -7,0	uvas, verduras desecadas
ALTAS		
Descont. de aditivos	10-50	especias, prepar. enzim.
Esteriliz. comercial	30-50	dietas especiales

(si fuera éste el caso) del producto en cuestión y la concentración permitida de las mismas según los reglamentos sanitarios; el cociente inverso PERMITIDO/INICIAL

S
INICIAL —————> PERMITIDO

nos dará el factor de reducción necesario, S, el cual se conseguirá con valores de dosis similares a los recogidos en la tabla I.

Pero, no siempre los patógenos son eliminables con tanta facilidad como las bacterias normales, pues las bacterias esporiformes, los virus y las toxinas requieren dosis mucho más elevadas, las cuales alterarán seriamente las propiedades organolépticas; por esta razón, la conservación de alimentos por irradiación debe practicarse sobre productos exentos de patógenos radioresistentes, lo que supondrá una criba adicional en la consecución de la excelencia de calidad de los productos irradiados.

Panorama de las aplicaciones

La conservación de un alimento se realiza, como se ha dicho anteriormente, mediante su exposición a una dosis de radiación autorizada que sea suficiente para conseguir el efecto deseado (inhibición de brotación, desinsectación, destrucción de microorganismos, etc.), sin llegar a perjudicar su calidad sensorial. En la Tabla II se pueden ver los intervalos de dosis utilizados en la conservación de diversas clases de alimentos; estos intervalos se pueden situar en tres regiones:

- de *bajas dosis*, hasta 1 kGy
- de *dosis intermedias*, entre 1 y 10 kGy
- de *altas dosis*, mayores de 10 kGy

A pesar de que la técnica de la irradiación está ya expedita para su aplicación masiva, su avance real es exasperantemente lento y no acaba de cuajar a nivel industrial, pues las 500.000 toneladas anuales que ahora se consumen en el mundo son una nimiedad con respecto a las cantidades que razonablemente debieran consumirse. Estamos por lo tanto, en el mejor de los casos, en el inicio de un transitorio de

despegue para que la técnica ocupe el lugar que le corresponde en el aumento de la calidad higiénica y la extensión de vida de los productos alimentarios. En la actualidad, dos son las puntas de lanza más prometedoras que se vislumbran:

- los tratamientos de cuarentena, si se consiguen armonizar, a nivel internacional, las legislaciones nacionales relativas al consumo de frutas y verduras irradiadas;
- y el control de la infectividad de determinados productos básicos de gran consumo, como los pollos higienizados por irradiación.

Los tratamientos de cuarentena

En relación con la prevención de las enfermedades contagiosas, se crearon en el pasado -inicialmente en Venecia, en el s. XIV, en una isla próxima a la ciudad- lazaretos para aislar durante 40 días ("quarantina") a tripulantes y pasajeros de barcos procedentes de allende los mares, para que en ellos se manifestaran las enfermedades contagiosas de las que fueran portadores, lo que motivaría la denegación de la autorización de entrada.

El modelo veneciano, copiado por otros países europeos, si bien cumplía esa función primaria de barrera física contra la propagación de las enfermedades, dio lugar con el tiempo a muchos abusos, tanto en la concesión de certificaciones y visados de salud como en la desinfección ("espionaje") de documentos y correspondencia, etc. Además, durante el s. XIX surgió una agria polémica entre "contagionistas", que creían que las pestes se transmitían por contagio personal, y los "miasmáticos", que pensaban que la transmisión se producía a través de miasmas de la atmósfera infectada, y que, por lo tanto, la solución no era la cuarentena sino la desinfección y la higiene. Naturalmente, las grandes potencias marítimas eran "miasmáticas", porque la cuarentena entorpecía seriamente el comercio internacional.

Un mejor conocimiento etiológico y epidemiológico de las enfermedades contagiosas durante la segunda mitad del s. XIX condujo, tras múltiples conferen-

cias sanitarias, a la creación en 1907 de la Oficina Internacional de Higiene Pública, con sede en París, que fue la precursora de la actual Organización Mundial de la Salud (OMS) de las Naciones Unidas. Ahora, que la retención de personas es una práctica casi ya superada, excepto para unas pocas enfermedades transmitidas, entre otras vías, de persona a persona (viruela, cólera, etc.), los procedimientos de cuarentena se han reorientado en buena parte hacia el cumplimiento de requisitos de protección del medio ambiente, en el sentido de evitar la transmisión de pestes, sobre todo insectiles, desde regiones "contaminadas" a regiones "limpias".

Ello adquiere su máxima expresión en el comercio internacional de frutas y verduras desde los países productores -tropicales o de estaciones climáticas complementarias, etc.- hacia los países más desarrollados del Norte geopolítico. De hecho, hasta ahora, las frutas y verduras se venían desinfectando, con respecto a la mosca de la fruta y otros insectos, utilizando fumigantes químicos como el óxido de etileno, el dibromuro de etilo y, sobre todo, el bromuro de metilo, del cual se consumen enormes cantidades en los principales puertos de entrada de los EUA. El uso de estos fumigantes (óxido de etileno y dibromuro de etilo) ya ha sido prohibido en los países más desarrollados y está pendiente de sanción final el bromuro de metilo, al haberse incluido en la lista de las sustancias destructoras de la capa de ozono (Protocolo de Montreal, 1986), mientras son elaborados planes alternativos en los distintos países, a fin de llegar a su prohibición total a partir del año 2000.

Este giro inesperado de la protección medioambiental contra el uso de los fumigantes químicos ha dado un vuelco radical al problema de la desinfección en el comercio internacional, habiéndose puesto los ojos ahora en la irradiación, como posible tratamiento de cuarentena, que podría sustituir no sólo a los fumigantes sino también a otros procedimientos térmicos -como la inmersión durante un cierto tiempo en agua a 46,1°C-, que no son del todo satisfactorios. Por ello, tanto en los países exportadores como en los importadores de frutas y verduras se está trabajando con gran interés en la puesta en servicio de irradiadores para tratamientos de cuarentena, que utilizarían intervalos de exposición en torno a los 300 Gy, conducentes a la inhibición reproductiva de la mayoría de las pestes insectiles transmitidas por frutas y verduras.

Higienización industrial de carne avícola

En 1993, la firma VINDICATOR Inc. (vinculada a NORDION International, Inc., de Canadá) inició la venta de pollos irradiados en varios establecimientos de

INTERESES

NIVELES

ACTORES



F XIV - La Pirámide de niveles de intereses y sus principales actores en la cadena alimentaria humana.

comestibles del Estado de Florida; el producto,

- provisto del logo internacional RA-DURA
- avalado por el símbolo de calidad "Orgullo de la Nación" sobre la bandera de los EUA,
- y con la frase de "tratado por irradiación, para el control de Salmonelas y otras bacterias que acompañan a los alimentos",

se vendía acompañado de información adicional sobre el proceso de la irradiación, así como de un artículo científico "light", titulado "Ponga un pollo irradiado en su cazuela".

Estos primeros ensayos comerciales han puesto de manifiesto que los consumidores, cuando "debidamente informados", aceptan de buen grado la superior calidad de los productos irradiados, en contra de la propaganda de los activistas "anti-irradiación", que predicán el rechazo a priori de los alimentos irradiados, en clara extensión de la controversia nuclear al sector alimentario.

En realidad, la historia de este avance en la comercialización de carne avícola irradiada arranca en 1987, cuando el Ministerio de Agricultura de los EUA, consciente de su responsabilidad reguladora, propuso la utilización de la radiación ionizante (dosis entre 1,5 y 3 kGy) para "disminuir el potencial patogénico de Salmonela, Campilobácter y Yersinia -aunque no limitativo a sólo estas bacterias- portado por alimentos como la carne de pollo". La proposición pretendía allanar el camino para que la industria avícola dispusiese de un tratamiento de higienización autorizado para el control de microorganismos significativos en materia de Salud Pública. Con su aprobación en 1992 por la Administración de la Alimentación y los Medicamentos, (FDA), quedó expedita la vía legal para iniciar la comercialización de este producto básico, del cual se consumen en los EUA más de 3 millones de toneladas anuales.

En realidad, parece ser que el intervalo de dosis (1,5-3,0 kGy) solicitado por el Ministerio de Agricultura de los EUA se

quedó corto con respecto a lo que hubiera sido deseable; pues, al efectuarse la irradiación sobre producto congelado, la efectividad bactericida sobre los microorganismos es menor que a la temperatura ambiente, requiriéndose una compensación por vía de mayores dosis; así, la Société des Protéines Industrielles (Lyon) ha demostrado que en la irradiación a 3kGy, y a -18°C, la carne de pollo mecánicamente deshuesada (que suele tener una mayor carga microbiana) presenta todavía un porcentaje demasiado elevado de Salmonelas, razón por la cual, en Francia, han autorizado dosis hasta de 5 kGy, y en Canadá, en la misma línea, hasta de 7 kGy.

Hoy día está claro que si la irradiación tiene algún futuro en el ámbito de la higienización alimentaria, éste pasa por su aplicación a los productos de gran consumo (y precio no despreciable), como las carnes de pollo o de cerdo, que serán las únicas que resistirán los costes adicionales que impone la logística asociada a los alimentos irradiados (irradiación, distribución e información).

EVALUACIÓN

El contexto valorativo

La evaluación de la irradiación debiera consistir en la apreciación objetiva de las ventajas e inconvenientes que esta técnica ofrece para la conservación de determinados productos alimentarios; justamente, de aquellos para los que la irradiación supone claras ventajas con respecto a los procedimientos alternativos clásicos.

Pero, por lo expuesto en apartados anteriores, esta apreciación objetiva nunca agotará la función valorativa de los alimentos irradiados en relación con la nutrición humana, ya que los consumidores proyectarán sobre ellos sus propios esquemas apriorísticos, que les conducirán a posiciones tan dispares como las que van de la calurosa aceptación al rechazo incondicional.

Es más, en esta evaluación no cuentan

sólo los consumidores, habrá que tener presentes también los puntos de vista del sector empresarial, poco favorable a la incorporación de innovaciones técnicas que no gocen de plena aceptación pública; del mismo modo, contarán también las perspectivas del comercio internacional de los alimentos irradiados que no son ciertamente halagüeñas, debido a las dificultades con que tropieza la armonización de las legislaciones de países que se encuentran en estadios de desarrollo muy diferentes. En definitiva, la evaluación de la irradiación como técnica de conservación no se reduce a un nuevo ejercicio de racionalidad económico-sanitaria, sino que es una función valorativa compleja, con implicaciones sociológicas y empresariales, y con tantos puntos de vista como intereses intervengan en la cadena de la alimentación.

Los niveles de intereses

Los intereses asociados a los actores intervinientes en la cadena alimentaria humana, globalmente considerada, pueden estructurarse en cuatro niveles -intercional, nacional, empresarial y social-, jerarquizados de acuerdo con el ámbito de su universalidad (figura 13). A continuación se bosquejan los principales actores e intereses que configuran cada nivel.

A) Internacional

Formado principalmente por los organismos especializados de las Naciones Unidas, responsables de afrontar los problemas relativos a

i) la producción de alimentos, como la Organización Internacional para la Agricultura y la Alimentación (FAO); y, en el caso de los alimentos irradiados, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que fomenta la tecnología y proporciona la normativa de la seguridad de la irradiación,

ii) la sanidad, con la Organización Mundial de la Salud (OMS) al frente, que dictamina los problemas toxicológicos, microbiológicos y nutricionales que plantean los alimentos irradiados,

iii) el comercio alimentario, con el Centro Internacional de Comercio (Ginebra), coordinador de las normas elaboradas en las sucesivas Rondas del Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT).

iv) la conjunción activa de los organismos precedentes da lugar a comisiones mixtas, como la del Códex Alimentarius, responsable de la normativa de las Naciones Unidas en materia de alimentación, y la del Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiación de Alimentos (ICGFI), que informa a los gobiernos que lo deseen acerca de la implementación de la irradiación de los alimentos.

En general, los intereses que mueven a todos estos organismos son de naturaleza altruista y humanitaria, si bien en

los órganos de decisión de GATT ya afloran los intereses de los niveles inferiores, en especial, los de la representación de las grandes empresas multinacionales.

En el Nivel Internacional, los criterios valorativos de la irradiación son de naturaleza científica y, por ende, favorables al comercio y consumo de los productos irradiados, siempre que en su tratamiento se apliquen los códigos de buena práctica recomendados por la Comisión del Codex Alimentarius.

B) Nacional

Formado por los departamentos ministeriales de Agricultura, Comercio, Sanidad (o similares) de cada país, los cuales tienen a su cargo la regulación económica del sector y la protección sanitaria del consumidor en todos los estadios de la cadena alimentaria nacional.

La autorización de la irradiación como técnica de conservación de alimentos para el consumo humano es, por supuesto, potestativa de cada país, y existen posiciones muy diferentes al respecto. Por ejemplo, en la Unión Europea no está autorizada la producción, comercialización y consumo de estos productos en Alemania, Suecia y Luxemburgo, y, en consecuencia, el Parlamento Europeo, en decisión reciente, no autorizó el libre comercio de estos productos en la Unión; ello, sin menoscabo del respeto a las políticas nacionales favorables a los mismos (en especial, las de Francia, Bélgica y Holanda).

Salvando la mencionada excepción europea, son favorables a la autorización legal del consumo los países con alto nivel de vida -como EUA, Canadá y Japón-, los países comunistas -China, entre ellos-, los exsoviéticos -CEI, Polonia, Hungría, etc.-, así como los que se encuentran en vías de desarrollo y son exportadores de carnes, frutas y verduras -en especial, los de América Latina-; otros Estados positivos son la India, Israel y Sudáfrica.

C) Empresarial

Formado por las grandes empresas del sector de la alimentación, ya sean de ámbito nacional o transnacional; sus políticas son muy conservadoras y poco propicias a aventuras de capital-riesgo, pues prefieren esperar a que sean los propios gobiernos quienes resuelvan los problemas de aceptación pública de los alimentos irradiados, mediante campañas informativas que enfatizan la superior calidad sanitaria de los mismos.

Se apartan de esta tónica general, no obstante, algunas empresas ligadas al sector nuclear, como el mencionado caso de la firma VINDICATOR, radicada en EUA pero vinculada a NORDION International Inc. (Canadá), la gran productora de cobalto-60 a nivel mundial.

En el caso de Francia, dado el decidido apoyo nacionalista a su política de innovación tecnológica, algunas empresas se lanzaron a la conquista de nuevos espacios comerciales como el de la carne de pollo irradiada en el Mercado Único Europeo; tal es el caso de la Société des Protéines Industrielles de Lyon y del Centro de Irradiación Regional de Marsella, que, a no dudarlo, habrán sufrido un serio revés con la decisión del Parlamento Europeo de no autorizar el libre comercio de estos productos.

D) Social

Formado por los consumidores individuales y sus organizaciones representativas; su elemento clave es el control de la información que circula en los canales de comunicación con visos de defensa ciudadana -tanto del consumidor como del medioambiente-, que son los dos tópicos de máxima receptividad pública.

Naturalmente, el control de la información no puede hacerse dando facilidades y la mayoría de las organizaciones no gubernamentales son "anti-irradiación" de alimentos, gozando de gran predicamento en los medios de comunicación de masas.

La única solución a este problema de opinión pública adversa pasa por la preparación y difusión de información fidedigna por parte de los promotores de los alimentos irradiados, al estilo de VINDICATOR, así como por la Administración, si es que se siente obligada a ello. Pero, concluyendo, el problema de la aceptación pública es muy grave y causa fundamental de la parálisis empresarial del sector alimentario.

RESÚMEN Y CONCLUSIONES

A lo largo de la exposición se ha intentado esbozar el panorama internacional de la conservación de los alimentos por irradiación. La técnica está completamente madura, pero los consumidores siguen reticentes a la aceptación de sus frutos, quizás porque existe rechazo generalizado a la irradiación como exponente máximo de la manipulación tecnológica de estos bienes básicos que son los alimentos.

Cara al futuro cabe pensar que la información al consumidor vaya impregnándose de racionalidad científica y la irradiación llegue a ocupar el puesto que objetivamente le corresponde en la tecnología de la conservación de los alimentos.

Las críticas anti-irradiación deben ser tenidas en cuenta, bien para enriquecer la aplicabilidad práctica de la técnica, bien para ser rebatidas cuando sean contrarias al propio interés general de la sociedad.

La evidencia científica indica que la irradiación puede elevar la calidad sanitaria de los alimentos y proteger el me-

dioambiente frente a las pestes devastadoras de los insectos.

Sin duda, la irradiación puede jugar un papel de auxilio alimentario para los miles de millones de personas atrapadas en el círculo vicioso de la pobreza, el hambre y la enfermedad.

BIBLIOGRAFÍA

Nota.- En algunos casos se citan solamente los nombres de las actas o documentos correspondientes a simposios, conferencias o grupos de trabajo, sin descender al detalle de los muchos artículos de interés que pueden estar contenidos en ellos.

(Actas) "Proceedings of the 8th International Meeting on Radiation Processing". 13-18 Sept. 1992, Beijing, P.R.C.; Radiat. Phys. Chem. Vol. 42, Nos 1-3 (1993).

Anderson J.; "Food Irradiation. An Alternative Food Processing Technology". Food Industry Development Division. Agri-Food Development Branch. Agriculture, Canada (September 1989).

ANS "Food Irradiation"; Transactions of the American Nuclear Society. Winter Meeting 1994; Vol. 71 (1994).

Ashby J.; "Change the Rules for Food Irradiation"; Nature, Vol. 368, 14 April 1994, p. 582.

ASTM "Standard Guide for Selection and Application of Dosimetry Systems for Radiation Processing of Food". 1993 Annual Book of ASTM Standards; Vol. 12.02; E 1261-88.

"Standard Practice for Dosimetry in Electron and Bremsstrahlung Irradiation Facilities for Food Processing". 1993 Annual Book of ASTM Standards; Vol. 12.02; E 1431-91.

"Standard Practice for Dosimetry in Gamma Irradiation Facilities for Food Processing". 1993 Annual Book of ASTM Standards; Vol. 12.02; E 1204-93.

Avery N, et al.; "Codex Alimentarius. Who is Allowed In? Who is Left Out? The Ecologist, Vol. 23, No.3, May/June 1993.

Barrachina M.; "Conservación de Alimentos por Irradiación". Energía Nuclear, No 158, Nov.-Dic. 1985, pp.513-519.

BOE "Código Alimentario Español". Texto Legal No 55 del BOE; 4ª Edición (1985).

Brynjolfsson A.; "Wholesomeness of Irradiated Foods: A Review"; J. Food Safety 7 (1985) pp 107-126.

CAST "Ionizing Energy in Food Processing and Pest Control: I-Wholesomeness of Food Treated with Ionizing Energy". Council for Agricultural Science and Technology (CAST). Report No. 109 (July 1986, Iowa, USA).

Cohen B.L.; "Irradiated Food: Is There a Need?" Nuclear News, June 1992, pp 60-68.

Contreras J.; "Antropología de la

Alimentación". Eudema (1993).
Enerpresse; "Un Centre d'Ionisation à Marseille". Enerpresse N° 4776 (1er Mars 1989).

Erhart F.; "The Technological Aspects and Characteristics of Ionizing Treatment: Industrial Cobalt 60 Plants". Revue Générale Nucléaire. Supplément au N° 5 (1986).

FAO "Utilización de la Energía Atómica en la Agricultura y Producción de Alimentos". Primera Conferencia de Ginebra. P/780 (1955).

FSIS "Poultry Irradiation and Preventing Foodborne Illness". Food Safety and Inspection Service (FSIS) Backgrounder. US Department of Agriculture. Sept. 1992.

Giddings G.G., Marcotte M.; "Poultry Irradiation: for Hygiene/Safety and Market-Life Enhancement". Food Reviews International, 7 (3), 1991, pp 259-282.

González Turmo I., Romero de Solís P., (Eds); "Antropología de la Alimentación: Ensayos sobre la Dieta Mediterránea". Actas del Foro Alimentación y Sociedad (Almería, 1992). Consejería de Cultura y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (1993).

Heather N.W.; "Irradiation as a Quarantine Treatment of Agricultural Commodities against Arthropod Pests". From "Management of Insect Pests: Nuclear and Related Molecular and Genetic Techniques", p. 627; IAEA, Vienna (1993).

IAEA "International Acceptance of Irradiated Food. Legal Aspects". Legal Series No. 11. Vienna (1979).

"Acceptance, Control of and Trade in Irradiated Food". Proceedings of the International Conference held in Geneva, 12-16 December 1988. Vienna (1989).

"Radiation Preservation of Fish and Fishing Products"; T.R.S. No 307 (1989).

"Factors Affecting Practical Application of Food Irradiation". TECDOC-544 (Vienna, 1990).

"Regulations in the Field of Food Irradiation". ICGFI, TECDOC-585 (February 1991).

"Analytical Detection Methods for Irradiated Foods. A Review of the Current Literature". TECDOC-587 (March 1991).

"Irradiation of Spices, Herbs and Other Vegetables Seasonings. A compilation of Technical Data for its Authorization and Control". TECDOC-639 (February 1992).

"Harmonization of Regulation on Food Irradiation in the Americas". TECDOC-642 (March 1992).

"Cost-Benefit Aspects of Food Irradiation Processing". Proceedings of the Aix-en-Provence Symposium, 1-5 March 1993. Vienna (1993).

"Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-Borne Parasites". STI/PUB/933 (1993).

"Cost-Benefit Aspects of Food

Irradiation Processing". STI/PUB/905 (1993).

ICGFI "Instrumento Constitutivo de un Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiación de Alimentos". Viena, 24 Febrero 1983. Joint FAO/IAEA Division.

"Irradiación como Tratamiento Cuarentenario para Frutas y Verduras". Instituto de Investigaciones Agronómicas, Bethesda, MD, EUA, 7-11 Enero 1991.

"La Irradiación de Alimentos: Hechos y Realidades". IAEA/PI/A335, Viena (1992).

"Irradiation as a Quarantine Treatment of Fresh Fruits and Vegetables". International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), Document No 17, Vienna, 1994).

INE "España. Anuario Estadístico 1992". Instituto Nacional de Estadística (INE), Madrid (1993).

Jategaonkar L., Marcotte M.; "Effects of Irradiation on Seaso-mings: A Review of Selected Literature". Nordion International Inc., Kanata, Ontario, Canada (August 1993).

Josephson E.S.; "Nutritional Aspects of Food Irradiation: An Overview". J. Food Processing and Preservation, 2 (1978), 299-313.

Käferstein F.K., Moy G.G.; "Public Health Aspects of Food Irradiation". J. Public Health, Vol. 14, no 2, Summer 1993.

Kundstadt P., Steeves C.; "Economics of Food Irradiation". Nordion International Inc., Kanata, Ontario, Canada.

"Safety Considerations in the Operation of Gamma Processing Facilities". Nordion International Inc, Kanata, Ontario (Canada).

"Commercial Developments in Food Irradiation". Nordion International Inc., Kanata, Ontario, Canada. (October, 1993).

Loaharanu P.; "Food Irradiation: A Contribution to Economy and Health". IAEA Yearbook 1989.

"La Irradiación de Alimentos en los Países en Desarrollo: Una Opción Práctica". Boletín del OIEA, 1/1994, pp 30-35.

Loaharanu P., et al.; "Food Irradiation: Issues Affecting its Acceptance by Governments, the Food Industry and Consumers". IAEA Yearbook 1990, Part B pp 11-24.

Maloney D.R., et al.; "An Electron Spin Resonance Study of some Gamma-Irradiated Fruits". Radiat. Phys. Chem., Vol. 39, No 4 (1992), pp 309-314.

Marcotte M.; "The Practical Application of Food Irradiation Desinfestation for Food and Agricultural Commodities". Nordion International Inc., Kanata, Ontario, Canada (September 1992).

"Suitability of Irradiation Desinfestation for Produce Previously Deemed to be Unsuitable or Sensitive". Nordion International Inc., Kanata, Ontario, Canada (May 1994).

"Commercial Irradiation of Food and Agricultural Commodities, Market Tests

and Consumer Attitude Research. Summary Tables". Nordion International Inc., Kanata, Ontario, Canada (June 1994).

Ortín Suñé N., Fernández González J.; "Métodos Nucleares para Reducir las Pérdidas de los Alimentos". Energía Nuclear No 72; Marzo-Abril 1972.

Page T.L.; "Time is the Essence: Molecular Analysis of the Biological Clock". Science, Vol. 263, 18 March 1994, p. 1570.

Parlamento Europeo "Resolución Sobre la Irradiación de los Productos Alimenticios". Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 10 de Marzo de 1987, N° C 99/69.

Placer A.; "La Irradiación de Alimentos". Selección de artículos, referencia APD/14/94, CSN (madrid, 1994).

Raffi J.J., **Belliardo J.J.**; "Potential New Methods of Detection of Irradiated Food". EUR 13.331 EN (1991).

Sadate T.; "The Technological Aspects and Characteristics of Ionizing Treatment: Corpuscular Radiation". Revue Générale Nucléaire. Supplément au N° 5 (1986).

Schreuber G.A., et al.; "Methods for Routine Control of Irradiated Food: Determination of the Irradiation Status of Shellfish by Thermoluminescence Analysis". Radiat. Phys. Chem., Vol.43, No 6 (1994) pp 533-544.

Schuler R.H.; "Three Decades of Spectroscopic Studies of Radiation Induced Intermediates". Radiat. Phys. Chem. Vol. 43, No 5 (1994) pp. 417-423.

Shapiro A., **Mercier C.**; "Safe Food Manufacturing". The Science of the Total Environment, 143 75-92 (1994).

Sparks P., **Shepherd R.**; "Public Perceptions of the Potential Hazards Associated with Food Production and Food Consumption: An Empirical Study". Risk Analysis, Vol. 14, no 5, (1994) pp 799-806.

Spiegelberg A., et al.; "Methods for Routine Analysis of Irradiated Food: Optimization of a Method for Detection of Radiation-Induced Hydrocarbons and its Application to Various Foods". Radiat. Phys. Chem., Vol. 43, no 5 (1994), pp 433-444.

Suárez Fernández G.; "Guerra a la Listeria, el Enemigo de los Alimentos". ABC Cultural 13-01-1995.

Taub I.A., **Karel M.** (Editors); "Chemistry of the Food-Cycle.- State of the Art". J. Chem. Educ. Vol 61, no 4, April 1984.

Terry A.J., **Mc Coll N.P.**; "Radiological Consequences of Food Irradiation". NRPB-R247 (February, 1992).

Val Cob M. del, **Ortín Suñé N.**; "Conservación de Alimentos por Irradiación.I - Evolución y Estado Actual en el Mundo". Energía Nuclear, N° 34, Marzo-Abril 1965.

Vicente G. de; "Estado Actual de la Conservación de Alimentos por Irradiación Gamma". Forum Atómico Español (Mayo, 1963).