

# La radiació ionitzant en la indústria alimentària

Josep Calderón  
Químic i soci de l'ACCA

Els insectes, les plagues i els microorganismes contaminen els aliments. Al llarg de la història ha estat necessari trobar tractaments que permetin reduir o eliminar aquests contaminants dels aliments i que facin possible la seva conservació per a consums ulteriors. Amb l'augment demogràfic i el creixement de les ciutats, és encara més important conservar l'aliment en bon estat durant el transport a llargues distàncies i durant llargs períodes de temps. La irradiació dels aliments és un dels mètodes que ha estat desenvolupat per aconseguir aquest objectiu. Aquest tractament permet solucionar molts dels problemes de contaminació sense efectes aparents sobre l'aliment. Històricament han estat molts els qui s'han mostrat reticents a l'ús de les radiacions ionitzants. Per vèncer aquesta reticència cal oferir al consumidor una informació adequada que li permeti conèixer els avantatges i els inconvenients d'aquesta manera de processar els aliments. L'argument emprat per moltes associacions de consumidors per desconfiar d'aquesta tècnica de preservació dels aliments es basava en la suposició que podia representar una font de contaminació radioactiva, una disminució de la qualitat del producte i un risc addicional per a la salut humana. Tot i amb això, els estudis realitzats han conclòs que es tractava d'unes afirmacions exagerades, i més quan s'han comprovat els avantatges que presenta en casos com, per exemple, el control de microorganismes patògens com ara *Salmonella* o *Listeria*.

## Aliments irradiats

La primera proposta documentada per a la utilització de radiació ionitzant per tal de millorar les condicions dels comestibles i les seves qualitats en l'emmagatzematge data de fa noranta anys al Regne Unit. Es proposava el tractament dels cereals i dels seus derivats amb raigs alfa, beta o gamma, amb els quals s'aconseguien avantatges importants, però no es va poder fer a escala industrial perquè les fonts de radiació ionitzant eren insuficients per dur-ho a terme. En el mateix sentit, el 1921, el Departament d'Agricultura i Indústria del Regne Unit va suggerir la utilització de raigs X per inactivar la triquina del porc, però de nou els instruments disponibles a l'època no tenien prou potència per tractar els porcs en quantitats que en fessin interessant l'aplicació comercial. El 1947, dos científics alemanys van publicar, primerament, que la carn i altres comestibles podien ser esterilitzats mitjançant pols d'electrons d'alta energia; segonament, que la llet i altres productes lactis eren sensibles a la radiació, ja que s'hi observava la pèrdua de sabor i, finalment, que aquests efectes no

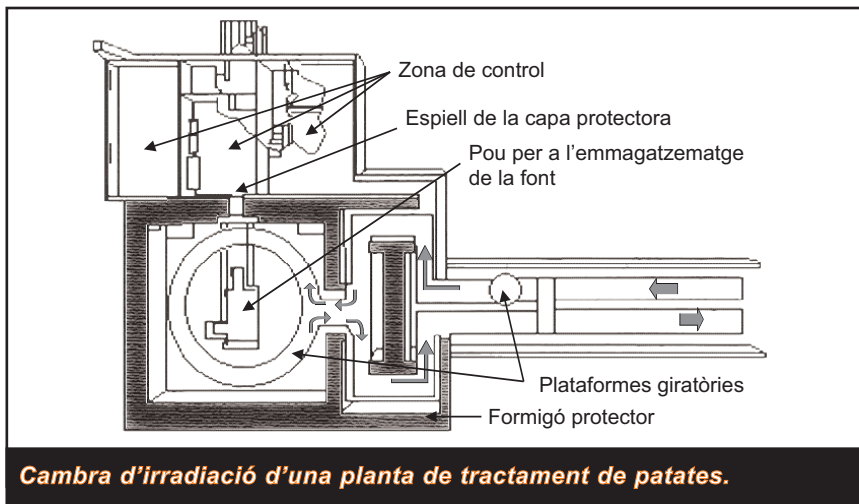
desitjats de la radiació es podien evitar si l'aliment era irradiat en absència d'oxigen i a baixes temperatures.

El primer producte irradiat es va comercialitzar el 1957 a la República Federal d'Alemanya, quan un fabricant d'espècies va substituir la fumigació dels seus productes amb òxid d'etilè per la irradiació. Amb tot i això, al cap de dos anys va haver de tornar al tractament inicial per qüestions legals. El 1963 es va autoritzar, al Canadà, la construcció d'una planta per a la irradiació de patates.

El 1970, després d'un complet estudi que va comptar amb la col·laboració de diversos països i organitzacions mundials, es va concloure que l'aplicació de radiació en aliments no comportava cap perjudici per a la salut humana, sempre que aquest tractament es realitzés en condicions controlades i dintre certs límits.

El 1983 es va acceptar, durant la quinzena sessió de la Comissió del Codex Alimentarius, que la irradiació és una tecnologia segura i efectiva per al tractament dels aliments. Aquesta afirmació es basava en un informe del Comitè Conjunt d'Experts en

A diferència dels tractaments no ionitzants, amb la radiació ionitzant es pretén prolongar la vida útil dels aliments sense que hi hagi un increment apreciable de la temperatura, com passa en els tractaments tèrmics, més estesos. S'utilitzen radiacions electromagnètiques amb energia suficient per ionitzar els àtoms o les molècules amb què interaccionen, o ambdós alhora. Si els nivells d'energia fossin elevats, es podria presentar un fenomen de *radioactivitat induïda*, per la qual cosa certs components de l'aliment es convertirien en radioactius. És per aquest motiu que el Comitè Mixt FAO/OIEA/OMS d'Experts en Irradiació d'Aliments va acordar el 1980 autoritzar com a fonts de radiació, per al tractament d'aliments, aquelles que tenien nivells d'energia molt per sota dels que poden induir radioactivitat (raigs gamma, raigs X i feixos d'electrons de baixa energia,  $\leq 10\text{MeV}$ ), per garantir que els aliments irradiats siguin totalment segurs.



**Cambra d'irradiació d'una planta de tractament de patates.**

Irradiació d'Aliments de la FAO, l'OMS i l'Agència Internacional d'Energia Atòmica. El Comitè va avaluar la informació disponible el 1969, el 1976 i el 1980, any en què va concloure que «la irradiació de qualsevol producte alimentari» fins a una dosi de 10 kilograys «no presenta perills toxicològics» i no requereix proves ulteriors, i que «no introdueix cap problema nutricional o microbiològic especial» en els aliments.

El 1992, un informe presentat pel Govern australià conclouia, de nou, que els aliments irradiats són acceptablement segurs.

Els experts de les associacions de consumidors no estaven d'acord amb els arguments plantejats, ja que consideraven que no s'havien tingut en compte proves clau, que els mètodes

de valoració dels riscos eren sospitosos, que els efectes sobre humans no havien estat massa estudiats i que es manifestarien en l'individu al llarg dels anys, que els estudis s'havien centrat molt en determinats aliments i que no s'havien estudiat els efectes de la radiació sobre pesticides i altres residus químics presents en els aliments. Respecte al darrer punt esmentat, la FAO va respondre dient que aquests residus es troben presents en nivells molt baixos. Pel que fa a l'efecte de la radiació sobre els envasos, l'FDA dels EUA ha publicat una llista de materials permesos per ser emprats en envasos que han de ser sotmesos a radiació. A més, els estudis que han servit per arribar a aquestes conclusions s'han fet en condicions de laboratori, i no s'han realitzat proves dels

efectes que poden tenir sobre els aliments quan se'n tracten grans quantitats i resulta més difícil controlar les condicions del tractament, com ara la dosi de radiació.

### Efectes de la irradiació

La radiació provoca la ionització de les molècules d'aigua presents en els aliments frescos o amb un alt contingut en aigua. Els electrons expulsats provoquen el trencament dels enllaços químics de l'aigua i els productes que s'originen es recombinen i formen hidrogen i peròxids d'hidrogen, radicals d'hidrogen, radical hidroxil i radicals hidroperoxil. Els radicals lliures formats durant la primera irradiació tenen una vida molt curta, però és suficient per provocar la destrucció de la cèl·lula bacteriana. A més, els enzims peroxidases, la xantinaoxidasa i l'aminoacidoxidasa alliberen en els aliments oxigen reactiu i els seus derivats, provoquen pèrdues en components liposolubles i àcids grassos essencials, amb el conseqüent desenvolupament d'aromes de ranci. Això fa que la irradiació no sigui adequada per tractar alguns aliments, com per exemple els productes lactis. La presència d'oxigen accentua aquest defecte i és per això que alguns aliments, com ara la carn, són irradiats envasats al buit.

Tractaments d'aquesta naturalesa poden causar la destrucció dels orga-

Utilització	Interval de dosi (kGy)	Aliments
Esterilització	7-10	Herbes i espècies
	Més de 50	Emmagatzematge de la carn a llarg termini
Esterilització de productes envasats	10-25	
Destrucció de gèrmens patògens (ex: <i>Salmonella</i> )	3-10	Blocs de productes congelats, pollastre, carn, gambes congelades i espècies
Control del creixement de florits	2-5	Prolongació de l'emmagatzematge de la fruita
Prolongació de la vida útil en refrigeració de 5 dies a 1 mes	2-5	Fruites toves, peix fresc i carn a 0-4 °C
Inactivació o control de paràsits (ex.: <i>Trichinella</i> , <i>Taenia</i> )	0,1-6	Porc
Control del creixement de l'insecte, desinfectació	0,1-2	Fruita, gra, farina, fava de coco, fruits secs
Descontaminació d'ingredients en receptes	7-10	Mescles d'aliments secs
Inhibició de la germinació	0,1-0,2	Patates, cebes, alls

**Utilització de la irradiació d'aliments (la dosi màxima recomanada és de 15 kGy).**

nismes vius presents en els aliments (insectes i paràsits fonamentalment i alguns microorganismes) o bé alentir els processos fisiològics d'alguns vegetals (maduració, creixement de brots i arrels) i poden modificar lleugerament les característiques organolèptiques i el valor nutricional derivat de la seva composició en proteïnes, lípids i carbohidrats.

Atès que els àcids nucleics són els components de major complexitat cel·lular i l'efecte de la irradiació és més important per a les molècules grans que per a les petites, la possibilitat que el material genètic pateixi danys directes és elevada, ja que la sensibilitat d'una molècula a la irradiació és directament proporcional a la seva massa molecular. És per aquest motiu que la irradiació en dosis baixes permet prolongar la vida útil dels aliments.

Així, es diu que la dosi letal d'irradiació associada a cada organisme viu disminueix a mesura que augmenta la complexitat del seu DNA (des de 0,005 kGy per a alguns mamífers fins a 200 kGy per a alguns virus). Els insectes i paràsits són destruïts amb les dosis més baixes emprades industrialment, i també els fongs i els llevats. Els organismes més resistent són les espècies formadores d'espores (com per exemple *Clostridium botulinum*). Les espècies i les herbes, que es troben habitualment contaminades amb bacteris esporoformadors resistent, requereixen dosis de fins a 100 kGy. Les dosis tan elevades fan que alguns aliments, com ara la carn, esdevinguin inacceptables des d'un punt de vista organolèptic.

La maduració de la fruita i de la verdura també resulta inhibida per la radiació, ja que s'interrompen tant la producció d'hormones com els processos bioquímics que condueixen a la divisió cel·lular i al creixement. Tot i amb això, cal recordar que la radiació no atura per complet l'alteració enzimàtica dels aliments, per la qual cosa, amb l'objectiu de prolongar la seva vida útil, la irradiació ha de complementar-se amb un tractament tèrmic. Atès que els bacteris irradiats són més sensibles a la calor, resulta més efectiva aquesta combinació de tractaments.

### Efecte en la qualitat nutricional i en les característiques organolèptiques

Les modificacions químiques induïdes per les radiacions ionitzants alteren, en major o menor grau, la qualitat organolèptica i nutritiva dels aliments. La magnitud d'aquests canvis depèn de la dosi absorbida. Sembla que existeix una dosi llindar per sota de la qual els canvis no són apreciables, mentre que dosis elevades en modifiquen el sabor, el color i la textura i poden convertir l'aliment en inacceptable. Per minimitzar aquestes alteracions, l'aliment és irradiat quan està envasat al buit o en atmosferes modificades, en estat congelat o en presència d'antioxidants.

Una de les alteracions organolèptiques més evident és l'aparició d'una olor o d'un sabor característics de la radiació, o ambdues coses alhora. Aquest fet es deu, fonamentalment, a l'efecte del procés de la radiòlisi en lípids i proteïnes. En els lípids es potencia la formació de peròxids i

### Resum d'unitats

**Rad:** Unitat radiològica. La irradiació d'un rad sobre un cos fa que aquest absorbeixi  $10^{-2}$  J/kg.

**Becquerel (Bq):** Equival a la unitat de desintegració per segon.

**Grays (Gy):** És la dosi absorbida. Equival a 100 rads.

hidroperòxids amb la consegüent producció d'aldehids i cetones volàtils que en modifiquen l'aroma. Pel que fa a les proteïnes, una de les causes més plausibles de la mala olor deriva del possible alliberament de sulfur d'hidrogen. Per causa d'aquests efectes, la irradiació no és aconsellable, ni a dosis baixes, per al peix gras, i únicament serien adequats tractaments molt suaus per a la llet i els seus productes derivats. En el cas de les carns, la irradiació produeix un canvi de sabor més acusat en els talls magres que en aquells amb un contingut elevat en greix. Aquestes alteracions són més difícils de detectar en la carn de porc que no pas en la de vedella, possiblement perquè la primera és més greixosa. El color de la carn també pot ser afectat en dosis per sobre d'1,5 kGy.

És freqüent que es produeixi una disminució de la viscositat, com en el cas de la clara d'ou i de les sopes i salses elaborades amb midó tractat amb irradiació (amb dosis superiors a 1 kGy). En fruites i verdures es produeixen canvis en la textura derivats de la pèrdua de fermesa del teixit vegetal.

Igual que en altres modificacions produïdes per la irradiació, la pèrdua de nutrients depèn principalment de la dosi absorbida i de les condicions en què es fa el tractament. Tot i amb això,

Mètodes	Observacions
Detecció dels productes resultants de la hidroxilació de molècules aromàtiques	Ortotirosina a partir de l'aminoàcid fenilalanina
Detecció de hidroxiguanina i hidroxicitosina	Formats a partir dels grups guanina i citosina del DNA
Detecció de compostos volàtils	Formats per oxidació d'àcids grassos
Quimioluminescència i termoluminescència	Basats en la detecció de la llum emesa per les molècules quan es desactiven. Indicats per a aliments sòlids
Descens de la viscositat	Indicat per a aliments deshidratats i rics en carbohidrats
Espectroscòpia de ressonància paramagnètica electrònica i de ressonància magnètica nuclear	Elevada pressió



Material	Dosi (kGy)	Efecte
Poliestirè	5.000	No detectat
Polietilè	1.000	No detectat
Clorur de polivinil (PVC)	100	Agafa un color castany Allibera clorur d'hidrogen
Paper i cartró	100	Pèrdua de consistència
Polipropilè	25	Es fa trencadís
Vidre	10	Agafa un color castany

les investigacions fetes fins al moment present indiquen que el valor nutritiu derivat de l'aportació de macronutrients no es modifica significativament en els aliments irradiats amb les dosis recomanades.

Les dades existents sobre l'efecte de la irradiació en els micronutrients són diverses i s'observa que mentre la vitamina D, la riboflavina i la niacina són bastant radioresistents, les vitamines A, B1, E i K són radiosensibles.

### Tipus d'irradiació dels aliments

Inicialment, els tractaments amb radiacions ionitzants es van classificar comparant-los amb els tractaments tèrmics tradicionals i tenint en compte la dosi d'irradiació aplicada. D'aquesta manera, es van definir els termes següents:

1) Radapertització: amb aquest tractament s'obté una esterilitat comercial del producte (no afecta els virus). Es fan servir dosis al voltant de 2-5 Mrad. La radapertització es practica comercialment al Regne Unit en pinsos d'animals de laboratori lliures de microorganismes patògens. Carn i pa radapertitzats van ser emprats per als astronautes dels vols espacials Apollo-Soyuz 5. Aquest tractament, però, no està avalat per les recomanacions del Comitè Mixt d'Experts FAO/OIEA/OMS.

2) Radicidació: s'empra quan les dosis són suficients per destruir microorganismes patògens no esporulats, com ara salmonel·la, sense arribar a la radapertització. Es fan servir dosis al voltant de 0,8-1 Mrad.

3) Radurització: tractament amb el qual s'intenta prolongar solament el temps d'emmagatzematge mitjançant una reducció general del nivell de formes vegetatives bacterianes. Es fan servir dosis al voltant de 50-800 krad.

4) Desinfecció per radiació: s'empra quan s'intenta destruir els insectes paràsits.

5) Inhibició de brots i inhibició del desenvolupament de florits en productes vegetals emmagatzemats.

Aquestes xifres de dosimetria poden comparar-se amb la dosi de 500 rad, suficient per matar un home.

Actualment, però, es prefereix fer una classificació d'acord amb la dosi emprada. D'aquesta manera, es consideren tractaments amb *dosi baixa* els que es fan fins a 1 kGy; amb *dosi mitjana*, d'1 a 10 kGy i amb *dosi elevada*, de 10 fins a 50 kGy.

### Efecte de les radiacions sobre els envasos

Les radiacions són capaces de travessar els materials d'envasatge dels aliments. Per tant, la irradiació dels aliments preenvasats redueix el risc de contaminació, i en facilita així la manipulació. Tot i amb això, la irradiació pot afectar aquests materials,

per la qual cosa cal escollir acuradament el material dels envasos per evitar qualsevol possible contaminació de l'aliment amb productes radiolítics (subproductes de la irradiació).

Finalment, és interessant comentar els mètodes emprats per a la detecció d'aliments irradiats, basats en la detecció dels canvis físics i químics ocasionats pels tractaments d'irradiació sobre els aliments.

### Conclusions

Com a conclusions d'aquest article es mostren els principals avantatges i inconvenients de la utilització de radiacions ionitzants en els aliments.

### Bibliografia

- BRENNAN, J. G.; BUTTERS, J. R.; COWELL, N. D.; LILLY, A. E. V. *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*. 2a ed. Acribia, 1980.
- FELLOWS, P. *Tecnología del procesamiento de los alimentos. Principios y prácticas*. Acribia, 1994.
- SATIN, M. *Food irradiation. A guidebook*, Technomic Publishing Corporation, Inc. Lancaster, 1980.
- CAMBERO, I.; FERNÁNDEZ, L.; GARCÍA, M. L.; GARCÍA G.; SELGAS, M. D. *Tecnología de los Alimentos*. Vol. I. Síntesis, 1998

Avantatges	Desavantatges
Els aliments no se sotmeten a l'acció de la calor i per tant, es redueix la modificació de les seves característiques organolèptiques.	Elevat cost de la instal·lació.
Permet el tractament d'aliments envasats.	Possibilitat que algunes espècies microbianes desenvolupin resistència a les radiacions.
Els aliments es poden conservar amb una única manipulació, sense la utilització d'additius químics.	La inexistència de sistemes analítics prou adequats per a la detecció d'aliments irradiats.
Atura o alenteix els processos de maduració i putrefacció, per això els aliments es poden emmagatzemar durant més temps.	Només pot emprar-se amb un nombre limitat d'aliments.
Les necessitats energètiques del procés són molt baixes.	La reticència del consumidor al consum d'aliments irradiats per por dels efectes de la radioactivitat induïda.
Les pèrdues de valor nutritiu dels aliments tractats per aquest sistema són comparables a les dels mètodes de conservació corrents.	La irradiació destrueix els microorganismes causants d'alteracions, però no els bacteris patògens ni els virus. Per tant, la radiació elimina un valuós sistema indicador de salubritat dels aliments.
El procés es pot controlar automàticament i requereix poca mà d'obra.	Com que la irradiació destrueix els bacteris productors de toxines, però no les toxines ja alliberades al medi, la radiació introdueix un risc d'intoxicació.