



ASPECTOS DE LA TECNOLOGIA DE IRRADIACIÓN APLICADA EN PRODUCTOS ALIMENTÍCIOS EN BRASIL

***Nélida Lucia del Mastro
IPEN-USP
Brasil***

**1er encuentro de la ALATI - Asociación Latinoamericana de
Tecnología de la Irradiación, Bs As, octubre 2014**

Irradiación de productos alimenticios

- *Tratamiento sanitario: Seguridad alimentaria*
 - Cantidad de alimentos adecuada para toda a población
 - Alimentos que no presenten riesgos para la salud al ser ingeridos
- *Tratamiento fitosanitario*
- *Desarrollo de materiales para la industria de alimentos*

Fuentes de radiación ionizante permitidas para alimentos

- Cobalto-60 ($t_{1/2}$ 5,263 años; β - 0,314 MeV; γ 1,173, 1,332 MeV)
- Césio-137 ($t_{1/2}$ 30 años; β - 0,514, 1,176 MeV que decae y alcanza equilibrio con ^{137m}Ba , $t_{1/2}$ 2,554 min, γ 0,662 MeV)
- Rayos X energía máxima de 5 MeV
- Haz de electrones energía máxima de 10 MeV

Dosis de radiación ionizante utilizadas para alimentos

(1 Gy = 1 Joule/kg)

Objetivos	Dose (kGy)	Exemplos de Produtos Irrradiados
Doses baixas (<1kGy)		
Estímulo crescimento vegetal	Até 0,01	Cebolas
Inibição da germinação	0,05-0,15	Batatas, cebolas, alho, raiz forte
Inativação de insetos e de parasitas	0,15-0,5	Cereais e legumes, frutas frescas e secas, carne e peixe seco, carne de porco fresca
Retardamento do amadurecimento	0,5-1,0	Frutas e vegetais frescos
Doses médias (1-10kGy)		
Aumento da vida de prateleira	1,5-3,0	Peixe fresco, morangos, etc..
Eliminação de microorganismos esporulados e patogênicos	2,0-5,0	Frutos do mar frescos e congelados, aves e carnes cruas ou congeladas, etc..
Melhoria de propriedades tecnológicas dos alimentos	2,0-7,0	Uvas (aumento do rendimento do suco), vegetais desidratados (reduzindo o tempo de cozimento)
Doses altas (> 10 kGy)		
Descontaminação de aditivos e ingredientes	10-50	Preparações enzimáticas, gomas naturais, temperos, ..
Esterilização industrial (em combinação com aquecimento brando)	30-50	Alimentos prontos, dietas hospitalares, ingredientes para a indústria de alimentos, etc.

SEGURIDAD DE ALIMENTOS IRRADIADOS

- *“Alimentos irradiados de acuerdo con Buenas Prácticas de Producción (GMP) son seguros para el consumo y adecuados del punto de vista nutricional”.*
- WHO. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the wholesomeness of irradiated food. Technical Report Series No. 659, World Health Organization, Geneva, 1981.
- WHO. High Dose Irradiation: Wholesomeness of Food Irradiated with Doses above 10kGy. Technical Report Series No.890, World Health Organization, Geneva, 1999.

Irradiación de alimentos

Reducir carga microbiana, destruir patógenos, extender vida útil e o desinfestación.

Atualmente, 50 países possuem legislação autorizando o uso da radiação em alimentos. Ex:

- *África do Sul, Alemanha, Argentina, Bangladesh, Bélgica, Brasil, Canadá, Chile, China, Costa Rica, Coréia, Croácia, Cuba, Dinamarca, Espanha, EUA, Filipinas, Finlândia, França, Países Baixos, Hungria, Índia, Indonésia, Irã, Israel, Itália, República Tcheca, Japão, México, Noruega, Paquistão, Polônia, Reino Unido, Federação Russa, Síria, Tailândia, República Tcheca, Ucrânia, Uruguai e Vietnã*

Tratamiento sanitario

*From the U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC)
“Surveillance for Foodborne Disease Outbreaks — United States,
2008 and 2012” reports*

- Year Cases of illnesses Hospitalizations Deaths
 - 2008 23,152 1,276 22
 - 2012 19,531 4,563 68
- Overall in 2012, deaths came from **nine germs commonly spread through foods.**

Valores de D_{10} para patógenos específicos en productos cárneos y huevos [adaptado de Molins, 2001]

Microrganismo alvo	Temp °C	Producto	D_{10} (kGy)	Referência
<i>Staphylococcus aureus</i>	5	Peito de peru	0,45	Thayer et al. (1995)
<i>Campylobacter jejuni</i>	30	Carne moida de peru	0,16	Lambert and Maxcy (1984)
	5		0,19	
	-30		0,29	
<i>Salmonella Heidelberg</i>	0	Carne de ave (embalada em ar)	0,24	Licciardello et al. (1970)
	0	Carne de ave (embalada a vácuo)	0,39	
<i>Salmonella enteriditis</i>	5	Ovo em pó	0,6	Matic, et al. (1990)
	3	Carne moida	0,55-0,78	Tarkowski et al. (1984)
<i>Salmonella spp.</i>	5	Peito de peru	0,71	Thayer et al. (1995)
<i>Listeria monocytogenes</i>	5	Carne bovina	0,45	
<i>Escherichia coli 0157:H7</i>	5	Bifes de carne moida	0,27-	Lopez-Gonzales et al. (1999)
			0,38	

Valores de D_{10}

Diehl (1990)

• Microrganismo	Medio	Temp. d durante irradiación	D_{10} (kGy)
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Pescado	Ambiente	0,030/60
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Carne magra	Ambiente	0,120
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Água	Ambiente	0,120 -0,140
<i>Campylobacter jejuni</i>	Carne	Ambiente	0,140 – 0,160
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Carne	2 °C.	0,140 – 0,190
<i>Yersinia enterocolytica</i>	Carne	Ambiente	0,100 – 0,210
<i>Shigella dysenteriae</i>	Camaron	Congelado	0,220
<i>Brucella abortus</i>	Carne	Ambiente	0,340
<i>Escherichia coli</i>	Carne magra	Ambiente	0,430
<i>Salmonella enteritides</i>	Carne magra	Ambiente	0,700
<i>Salmonella newport</i>	Huevo	0 °C.	0,320
<i>Salmonella paratyphi B</i>	Ostras	5 °C.	0,850
<i>Salmonella typhimurium</i>	Carne magra	Ambiente	0,550
<i>Staphylococcus aureus</i>	Carne magra	Ambiente	0,580
<i>Streptococcus faecalis</i>	Camaron	5 °C.	0,750
<i>Moraxella-Acinetobacter</i> (isolada de peixe marinho)	Agar nutriente	Ambiente	0,950 – 1,900
<i>Moraxella-Acinetobacter</i> • (isolada de carne)	Caldo nutriente	Ambiente	4,700
<i>Clostridium botulinum E-Alaska</i>	Carne cozida	Ambiente	1,400
<i>Clostridium perfringens C</i>	Água	Ambiente	2,100
<i>Bacillus cereus</i>	Caldo nutriente	Ambiente	3,200

A comparison of the microbiological effectiveness of gamma rays and high and low energy electron radiations

Tallentire, A., Miller, A., Helt-Hansen, J. (2010). *Radiat. Phys. Chem.*, 79, 701-704.

The radiation response of spores of *Bacillus pumilus* was examined for irradiation with cobalt 60 photons, 10 MeV electrons and low energy electrons at 100 and 80 keV. The responses were found to be the same for all types of radiation within the measurement uncertainties and were also in agreement with a previously published value.

•Values of slopes of dose-log survival curves and derived D_{10} values for each radiation type together with those found by Tallentire & Khan (1975).

	Slope, kGy^{-1}	D_{10} kGy
Cobalt 60	-0.65	1.54
10 MeV	-0.65	1.54
80 keV	-0.63	1.54
100 keV	-0.61	1.58
Average	-0.65	1.65
Tallentire & Khan (1975)	-0.62	1.61

Comparison of typical processing parameters

	Gamma	X-Ray	E-Beam
Typical Source Power	3.5 MCi	25 kW	35 kW
Typical Processing Speed*	12 tonnes/Hr @ 4 kGy	10 tonnes/Hr @ 4 kGy	10 tonnes/Hr @ 4 kGy
Source Energy	1.33 MeV	5 MeV	5 - 10 MeV
Penetration Depth **	80 - 100 cm	80 - 100 cm	8 - 10 cm
Dose Homogeneity	High	High	Low
Dose Rate	Low	High	Higher
Best Application	Bulk processing of large boxes or palletised product in shipping cartons in a warehouse environment	Bulk processing of large boxes or palletised product in shipping cartons in a warehouse environment	Sequential processing of primary or secondary packaged product in-line or at-line

Tratamiento fitosanitario

Tratamiento cuarentenario para frutas frescas

- **En América del Sur la grande variedad de mosca de las frutas es responsable por las restricciones regulatorias establecidas por EEUU y Japón. Así, pocas especies de frutas frescas pueden ser exportadas en las siguientes condiciones:**
- **A) especies de frutas consideradas no hospederas, ej. bananas;**
- **B) frutas producidas en áreas consideradas libres de esas plagas por el AD de los EEUU (APHIS/USDA). Dentro de ese contexto son exportados por Brasil melones y mas recientemente, papayas.**
- **C) Aplicación de tratamientos post-cosecha.**
-

Tratamiento cuarentenario para frutas frescas

- Tradicionalmente el control de plagas era realizado por medio de fumigación (ex. Brometo de metilo), altamente eficiente mas tóxico para el hombre y medio ambiente; por eso esos agentes fueron o están siendo banidos.
- **Alternativas a Fumigación**
- tratamiento térmico / vapor / frío
- irradiación
- gas fosfina c/ tratamiento térmico o frío

NECESSIDADE DE TRATAMENTOS QUARENTENÁRIOS

1. ***Anastrepha fraterculus*** (México e América do Sul);
2. ***A. grandis*** (América do Sul, Panamá, México EUA);
3. ***A. ludens*** (Mexico, América Central, EUA);
4. ***A. obliqua*** (Caribe, México, EUA, América do Sul);
5. ***A. serpentina*** (México, EUA, América do Sul);
6. ***A. striata*** (Mexico e América do Sul);
7. ***A. suspensa*** (Florida, Grandes Antilhas);
8. ***Ceratitis capitata*** (África, Ásia, América do Sul e Central, Europa, EUA, Belize);
9. ***C. cosyra*** (África);
10. ***Dacus cucurbitae*** (África, sudeste de Ásia, islas do Pacífico);
11. ***Bratocera (Dacus) dorsalis*** (sudeste de Ásia, islas do Pacífico);
12. ***D. oleae*** (Europa, África. oeste da Ásia).

IRRADIAÇÃO COMO TRATAMENTO FITOSSANITÁRIO DE FRUTAS IMPORTADAS PELOS EUA

(Animal and Plant Health Inspection Service)

eficácia Probit 9: estimativa estatística de 99,99683% mortalidade ou esterilidade, correspondente a uma taxa de sobrevivência de 32 moscas férteis/milhão.

Doses de radiação devem prevenir a emergência de adultos vivos das frutas irradiadas

DOSES DE RADIAÇÃO PARA O CONTROLE DE MOSCAS-DAS-FRUTAS EM FRUTAS FRESCAS

•NOME CIENTÍFICO	DOSIS (Gray)
• <i>Bactrocera dorsalis</i> (oriental)	250
• <i>Ceratitis capitata</i> (mediterrânea)	225
• <i>Bactrocera curcubitae</i> (do melão)	210
• <i>Anastrepha suspensa</i> (do Caribe)	150
• <i>Anastrepha ludens</i> (do México)	150
• <i>Anastrepha obliqua</i> (das Índias Oc.)	150
• <i>Anastrepha serpentina</i> (do sapote)	150
• <i>Bactrocera tryoni</i> (de Queensland)	150
• <i>Bactrocera jarvisi</i>	150
• <i>Bactrocera latifrons</i> (da Malásia)	150

Instalaciones de tratamiento fitosanitario por irradiación

- July 25th, 2011. www.freshfruitportal.com

*"A new phytosanitary irradiation treatment plant has been launched in the Mexican state of San Luis Potosí, servicing an area that exports around 300,000 metric tons (MT) of fruit annually. In a release, the Secretary of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fishing and Food (SAGARPA) said the new facility would benefit around 10,000 fruit industry-related families, **replacing methyl bromide treatment with irradiation.***

The release said the Phytosanitary Irradiation Plant of Phytosa-Benebión would have less impact on the environment and its processes led to longer fruit shelf life.

*The plant is one of **just eight of its kind in the world** and cost US\$12 million, while SAGARPA estimates the public good will generate US\$258.8 million in guava, mango and citrus exports".*



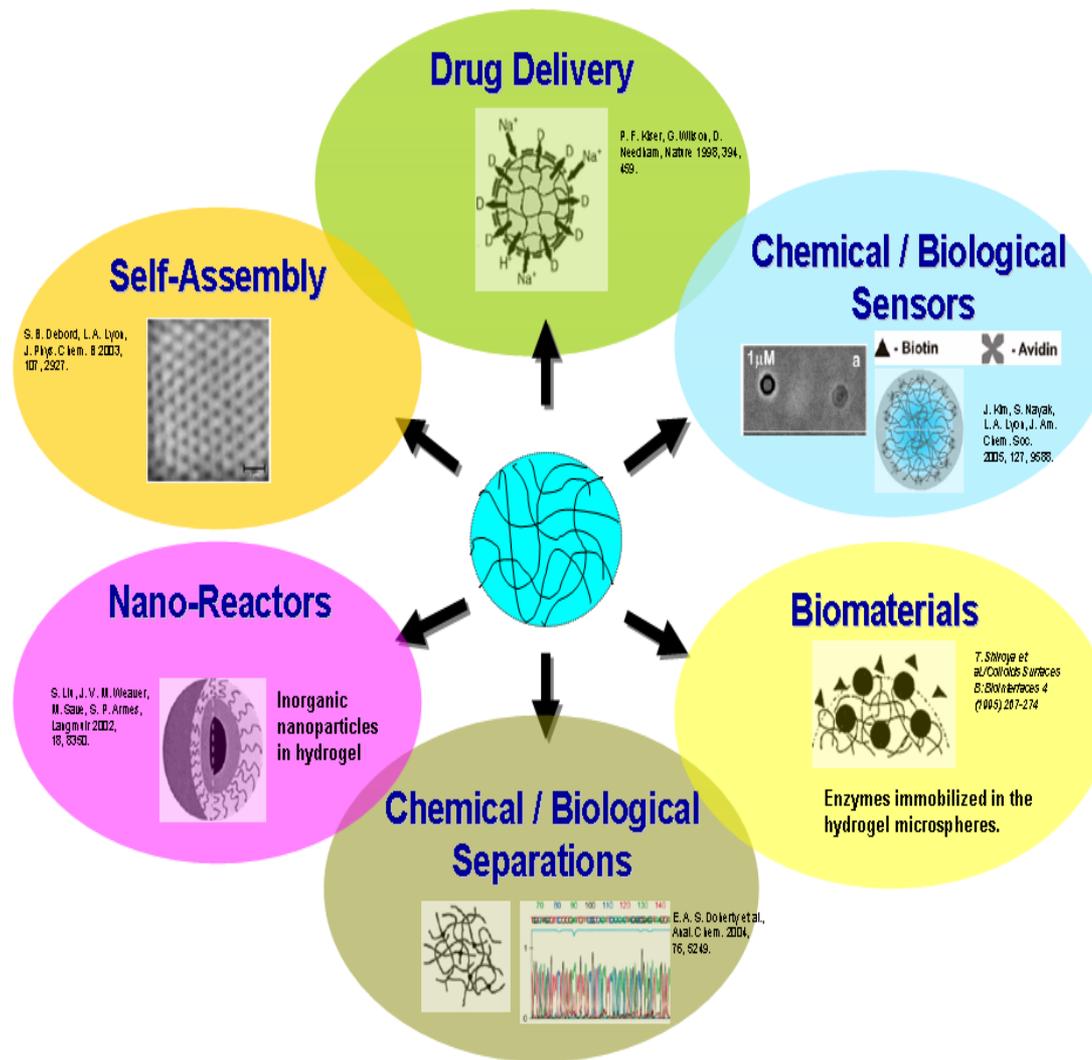
Agosto 2013 inauguración de nueva unidad de irradiación al oeste de la ciudad de Matehuala, Mexico, cercana a zonas productoras de frutas

- ***USDA completes test shipment of South African persimmons; USDA Announcement; (August, 2013):***
- GULFPORT, MISSISSIPPI: USDA has just completed the first phytosanitary irradiation of an imported commodity in the Southern USA. A test shipment of South African persimmons was successfully irradiated at the Gateway America irradiation facility in Gulfport, Mississippi.

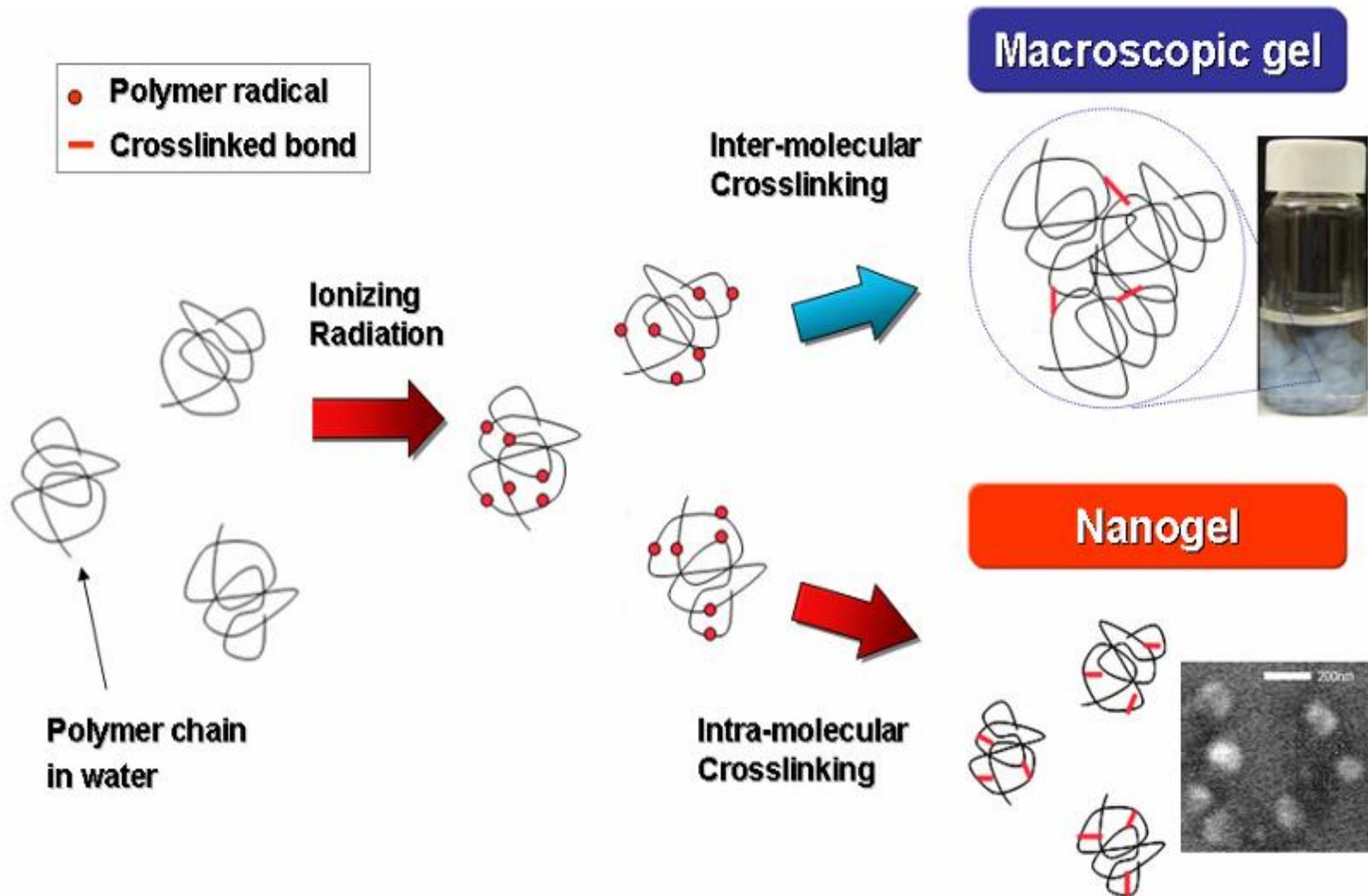


Algunos temas actualmente en estudio sobre Irradiación de alimentos en desarrollo en el IPEN

- Desarrollo de materiales para la industria de alimentos. Films de almidón/proteínas. Uso de la radiación en síntesis o estabilización de nanoestructuras e obtención de blendas.
- Estudio de la acción de la radiación en prebióticos (ex. banana verde).
- Aplicación del procesamiento por radiación en alimentos mínimamente procesados/dietas para pacientes inmunocomprometidos.
- Detección de alimentos irradiados
- Irradiación para desinfestación de raciones animales
- Análisis Sensorial de Alimentos Irradiados



Hydrogel in Nano-Technologies (Source: Al-Sheikhly, 2007)

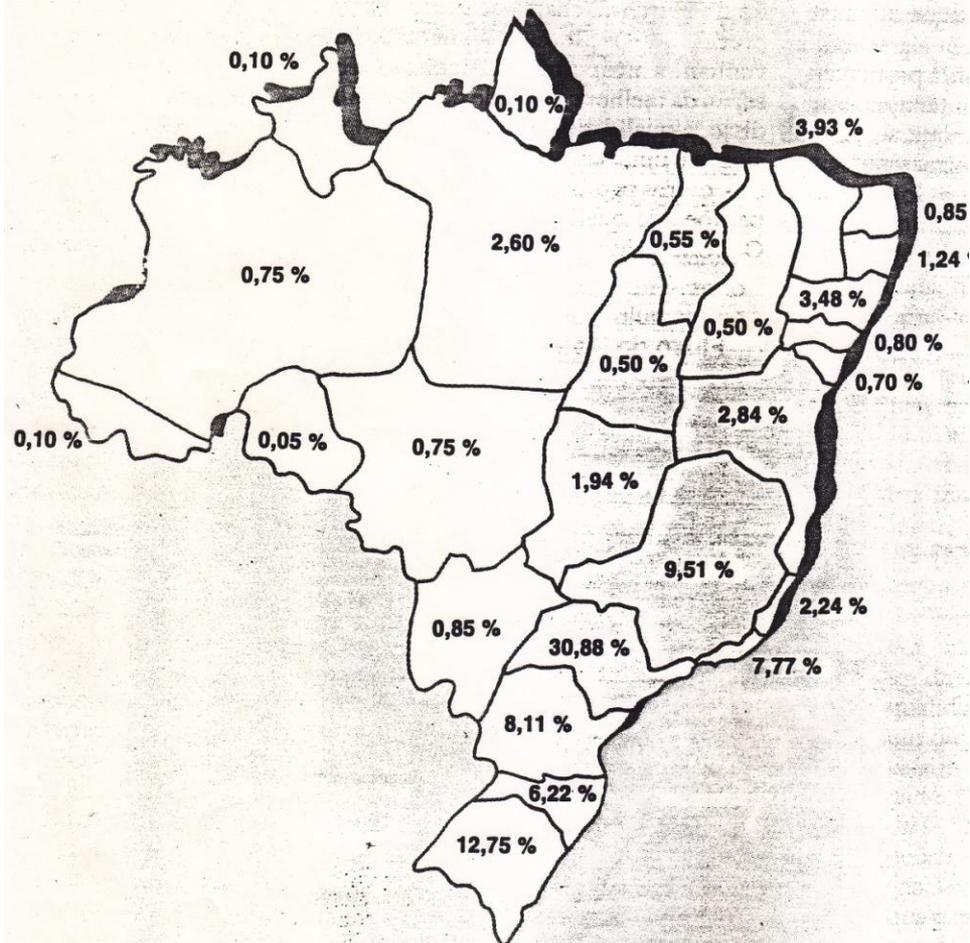


Inter- vs Intra-crosslinking (Source: Al-Sheikhly, 2007)

Irradiadores en Brasil

Distribuição das Indústrias Agroalimentares no Brasil

Número de Estabelecimentos



- **Johnson & Johnson**- São José dos Campos/SP
- **CBE/EMBRARAD** – Jarinu/SP and Cotia/SP
- **Acelétron** RJ
- **Centro Tecnológico do Exército (CTEx), Guaratiba, RJ.** ^{137}Cs , 1.8 kGy/h.
- **CDTN/CNEN**- Belo Horizonte/MG - **Gamma Irradiation Laboratory (IR-214- Nordion/Canada- 2002, 60kCi**
- **IPEN/CNEN** – São Paulo /SP
 - **Multipurpose Gamma Irradiation Facility**
 - **Gammacell Research Irradiator**
 - **Panoramic Irradiator**
- **CENA/USP**- Piracicaba/SP (under construction)
- **18 Electron Beam Accelerators (0.3 – 10 MeV)**

CBE

- En operación desde 1978, en Cotia, SP, precursora de la esterilización y reducción de carga microbiana por radiación gamma en Brasil (**JS7500- Nordion/Canada- 1981, 2000kCi**), (**JS9600-Nordion/ Canada- 1999 Capacity: 5000kCi**) posee también el mayor acelerador de partículas de Latinoamérica con capacidad de tratamiento mensual de 40mil m³ de productos para el área de la salud y 80 mil toneladas de ítems diversos.
- Cuenta con dos unidades localizadas en la ruta Dom Pedro I, km 89,5, EN Jarinu, SP, y Av. Cruzada Bandeirantes 290, Cotia, SP.

Fuentes de irradiación ionizante disponibles en el IPEN



Fonte panorâmica de ^{60}Co
modelo FIS 60-04,
Yoshizawa Kiko Co Ltd



Gammacell 220, AECL,
actualmente 0,7kGy/h



Acelerador de electrones (Dynamitron II,
Radiation Dynamics Inc.) 1,5 MeV, 11,2 kGy/s.



Irradiador de ^{60}Co Multipropósito (Max. 37 PBq o 10^6Ci)

Irradiador Multipropósito de ^{60}Co



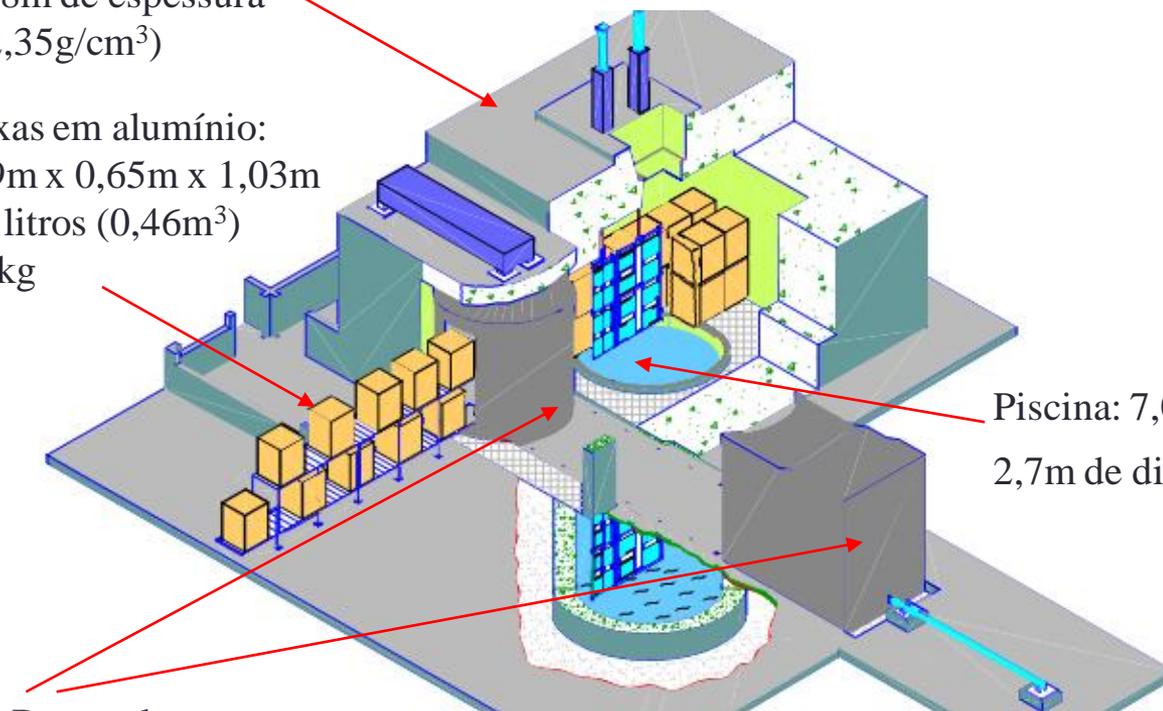
Irradiador gama Tipo IV
(AIEA -SAFETY SERIES No. 107)

Dose Uniformity Ratio / Efficiency:
1,33 / 11,6% (0,09g/cm³)
2,08 / 36,6% (0,49g/cm³)

Irradiador Multipropósito de ^{60}Co

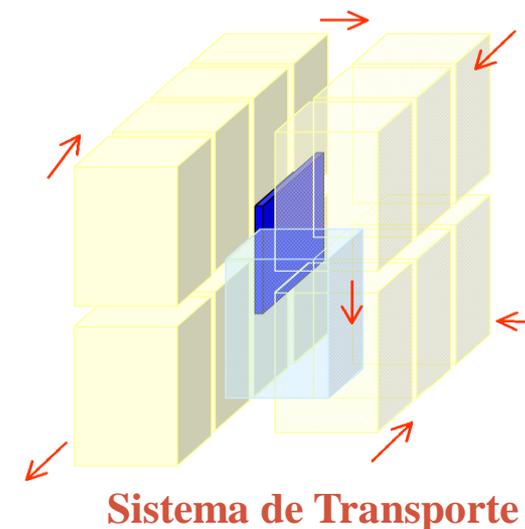
Parede de concreto:
1,8m de espessura
($2,35\text{g/cm}^3$)

Caixas em alumínio:
0,69m x 0,65m x 1,03m
462 litros ($0,46\text{m}^3$)
400kg



Portas de concreto:
1 deslizante e 1 giratória

Piscina: 7,0m de profundidade e
2,7m de diâmetro



- Atividade total 340 kCi
- Capacidade máxima credenciada pela CNEN : 37 PBq (1 MCi)



É possível determinar se um alimento foi irradiado?

Método de o-tirosina

Volátiles derivados de lípidos

Modificaciones químicas en carbohidratos

Modificaciones químicas en ácidos nucleicos

Evolución de H₂

Formación de isómeros ópticos (etanol[®]2,3 butanediol)

Impedancia eléctrica

Viscosimetría

Medidas de luminescência

Resonancia paramagnética electrónica (ESR o EPR)

Características histológicas /morfológicas

Modificaciones en microflora

Modificaciones morfológicas en insectos

Em Estudio: DEFT/APC: Contagem de microrganismos aeróbicos em placa (APC) conjuntamente com contagem pela técnica de filtro epifluorescente (DEFT) ·

LAL/GNB: Quantidade de endotoxina medida pelo teste de Limulus amoebocyte lysate (LAL) é comparada a o número de bacterias Gram-negativas

Método indirecto de identificación de alimentos irradiados en estudio

Espectroscopia ESR en el material de embalaje:

- • **Materiales conteniendo celulosa (papel)**
- • **Polipropileno**
- • **Poliestireno**
- • **Polietileno (se armazenado a baixa temperatura)**

Legislación brasileña sobre alimentos irradiados

Antecedentes

- O art. 6 do **Decreto No. 72.718 de 29 de agosto de 1973**, publicado no D.O.U. na Seção I Parte I de 30.08.1973, estabelece as normas gerais sobre irradiação de alimentos. Neste decreto, fica estabelecido que caberá exclusivamente à Comissão Nacional de Energia Nuclear propor Tabela dos Alimentos ou grupo de alimentos cuja irradiação será autorizada à Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos do Ministério da Saúde, a quem competirá a elaboração da referida tabela.
- Atualização nas Tabela de Alimentos contidas nos Anexos II da **Portaria No. 9 - DINAL/MS de 08 de março de 1985**, publicada no D.O.U. Seção I de 13.03.85.
- **Portaria No. 30 – DINAL/MS de 25 de setembro de 1989** publicada no D.O.U. na Seção I de 28.09.1989.

Legislação actual

Resolução - RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001, DO de 29/1/2001

A Diretoria Colegiada da **Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)** no uso da atribuição que lhe confere o art. 11, inciso IV, do Regulamento da ANVISA aprovado pelo Decreto 3029, de 16 de abril de 1999, em reunião realizada em 24 de janeiro de 2001,

Art. 1º Aprovar o REGULAMENTO TÉCNICO PARA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS, constante do Anexo desta Resolução.

Qualquer alimento poderá ser tratado por radiação desde que sejam observadas as seguintes condições:

- A dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida;
- A dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento.

Legislação actual

Instrução Normativa No. 9, de 24 de fevereiro de 2011. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) resolve:

- Adotar as diretrizes da Norma Internacional para Medidas Fitossanitárias –NIMF No. 18 como orientação técnica para o uso da irradiação como medida fitossanitária com o objetivo de prevenir a introdução ou disseminação de pragas quarentenárias regulamentadas no território brasileiro;
- A irradiação ionizante poderá ser utilizada a fim de obter certas respostas na praga objeto, tais como:
 - I – mortalidade;
 - II – impedir o desenvolvimento bem-sucedido;
 - III – incapacidade para reprodução;
 - IV – inativação.

A resposta exigida deverá estar baseada numa estimativa do risco fitossanitário e estabelecida pela Organização Nacional de Proteção Fitossanitária (ONPF) do país importador.



*Gracias
por su atención!*

- nlmastro@ipen.br
- nelida@usp.br