

# CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR IRRADIACIÓN

Consiste en exponer los productos a la acción de las radiaciones ionizantes

Se puede considerar como una pasteurización en frío

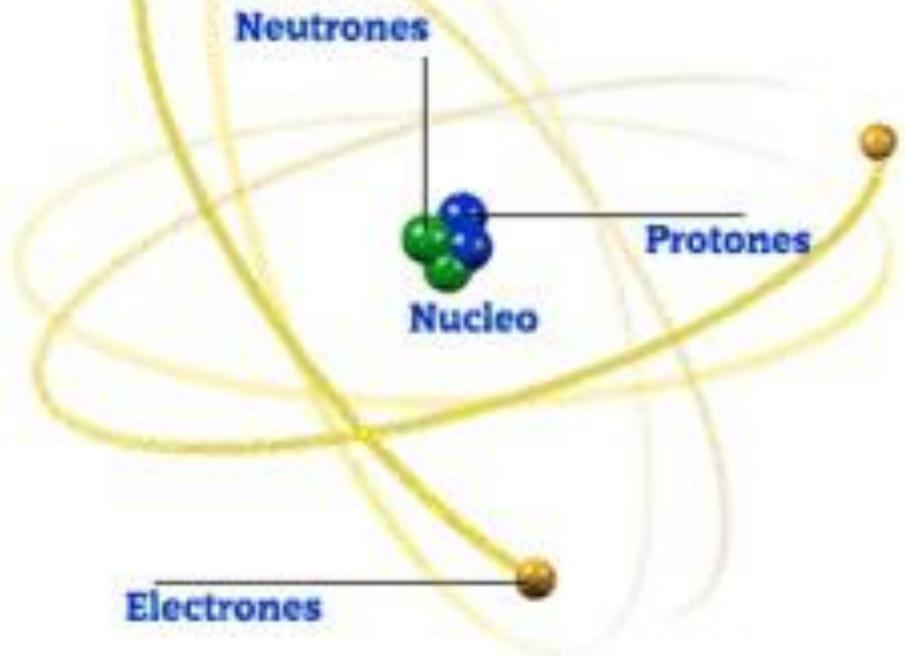
No puede clasificarse como convencional ni puede considerarse nuevo o emergente.

Se ha utilizado para diversos ingredientes y productos alimenticios desde la década de 1950, pero su uso no ha sido lo suficientemente extendido como para considerarse convencional.

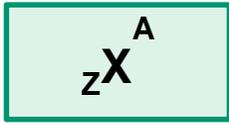
## Repaso

**RADIOACTIVIDAD:** fenómeno físico por el cual algunas sustancias o elementos emiten radiaciones.

Los electrones tienen cargas negativas, los protones positivas y los neutrones no poseen carga eléctrica



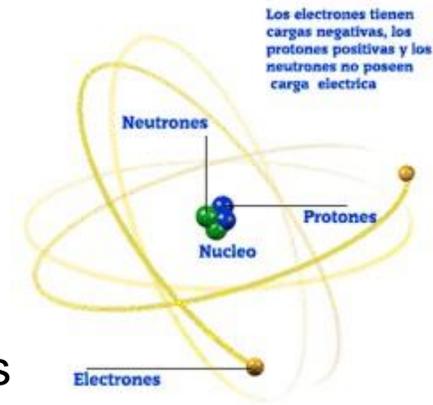
Es una propiedad de ciertos elementos químicos cuyos núcleos atómicos son inestables: con el tiempo, para cada núcleo llega un momento en que alcanza su estabilidad al producirse un cambio interno, llamado desintegración radiactiva, que implica un desprendimiento de energía conocido de forma general como “radiación”.



## ÁTOMO: el núcleo y la corteza

**Número atómico (Z)** cantidad de protones

**Número másico (A)** protones + neutrones



**ISOTOPOS:** átomos con núcleos que tienen igual número de protones y distinto el de neutrones

H-1: un protón y ningún neutrón,  $Z = 1$ ,  $A = 1$ , **protio** (mas abundante).

H-2: un protón y un neutrón,  $Z = 1$ ,  $A = 2$ , **deuterio**.

H-3: un protón y dos neutrones,  $Z = 1$ ,  $A = 3$ , **tritio**.

**DESINTEGRACIÓN RADIATIVA.** Ciertas combinaciones de  $Z$  y  $A$  forman núcleos estables, pero si hay demasiados o muy pocos neutrones, el núcleo sufre cambios que lo llevan a la estabilidad.

**ENERGÍA EMITIDA Y LA VELOCIDAD EN LA DESINTEGRACIÓN.** Ambos parámetros están relacionados con el grado de inestabilidad del núcleo.

**VELOCIDAD DE LA DESINTEGRACIÓN.** Vida media o período de semidesintegración, que es el tiempo necesario para que el número de átomos inicialmente presente se reduzca a la mitad por desintegración (desde fracciones de segundo hasta millones de años).

**RADIOISOTOPOS:** elementos radiactivos artificiales generados (reactores nucleares y aceleradores de partículas). Se obtienen bombardeando núcleos de elementos estables con neutrones o con partículas cargadas.

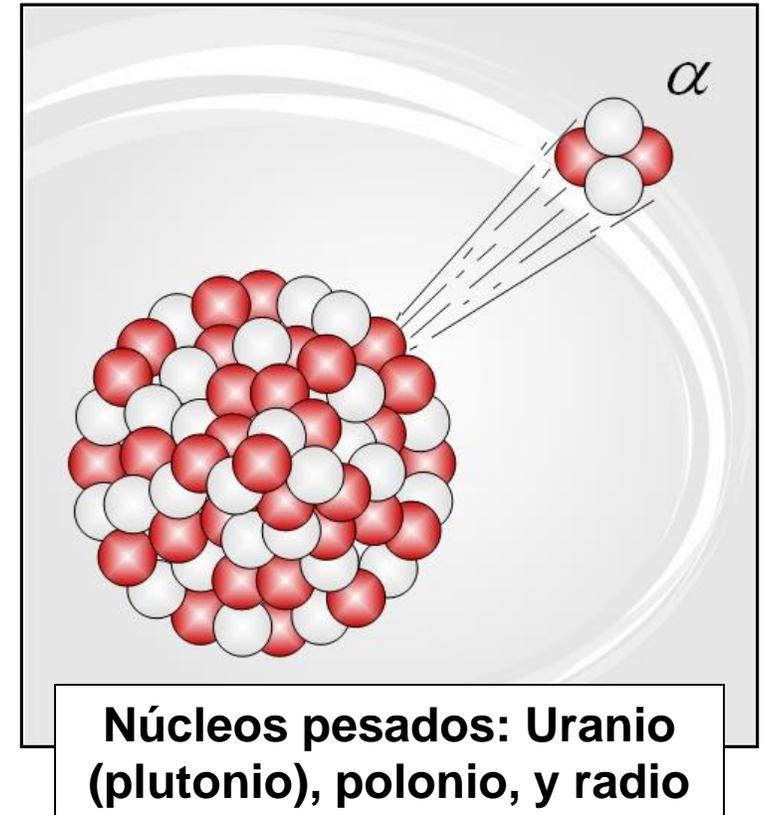
La desintegración radiactiva puede tener lugar de varias maneras diferentes y se clasifican de acuerdo a la clase de partículas emitidas:

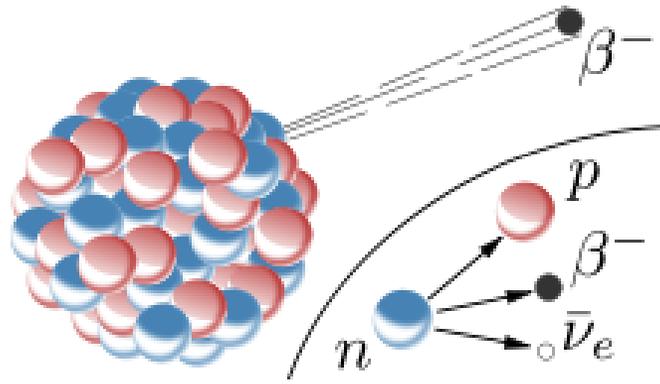
### DESINTEGRACIÓN ALFA ( $\alpha$ ):

El elemento radiactivo (demasiado pesado) expulsa un grupo compacto (núcleo de Helio: 2 protones y 2 neutrones).



No conduce directamente a núcleos estables: isótopos intermedios que experimentan nuevas desintegraciones.



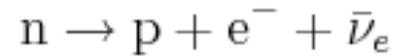


## DESINTEGRACIÓN BETA:

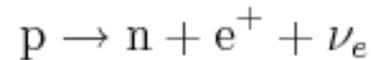
Un núcleo con demasiados neutrones (interacción nuclear débil), emite una partícula  $\beta$  para optimizar su relación neutrones/protones).

La partícula beta puede ser un electrón ( $\beta^-$ ), o un positrón ( $\beta^+$ )

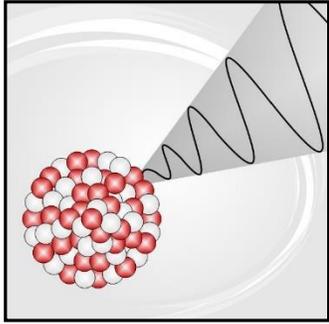
Desintegración  $\beta^-$ ; un neutrón da lugar a un protón, un electrón y un antineutrino. El  $e^-$  puede escribirse como  $\beta^-$ .



Desintegración  $\beta^+$ ; un protón da lugar a un neutrón, a un positrón y a un neutrino electrón.



La desintegración  $\beta$  es el tipo **mas frecuente de desintegración radiactiva tanto entre los isótopos artificiales** como entre productos radiactivos procedentes de la desintegración alfa



## DESINTEGRACIÓN GAMMA:

El núcleo del elemento radiactivo emite un fotón de alta energía (radiación electromagnética), la masa y el número atómico no cambian, ocurre un reajuste de los niveles de energía ocupados por los nucleones (núcleo).

Dualidad onda-corpúsculo: la radiación electromagnética se puede considerar como una serie de ondas o como un chorro de partículas, llamadas fotones.

→ Tiene una energía proporcional a la frecuencia de onda asociada, dada por la relación de Planck:  $E=h\nu$

Muchos isótopos naturales y artificiales con actividad alfa y beta son también emisores de rayos gamma.

**Los rayos X** (al igual que de microondas, rayos infrarrojos, luz visible, rayos ultravioleta) caen en esta categoría –son una radiación electromagnética – pero con una capacidad de penetración menor que los gamma.

Diferencia fundamental: **rayos gamma son de origen nuclear** (movimiento de un nucleón de un nivel excitado a otro de menor energía y en la desintegración de isótopos radiactivos), mientras que los **rayos-X surgen de fenómenos extranucleares** (nivel de la órbita electrónica).

# REPASO

**Radiaciones ionizantes:** radiaciones con energía suficiente para ionizar la materia, extrayendo los **electrones** de sus estados ligados al átomo.



		Longitud de onda	Frecuencia	Energía
<b>Ionizantes</b>	<b>Rayos gamma</b>	< 10 pm	>30.0 EHz	>19.9E-15 J
	<b>Rayos X</b>	< 10 nm	>30.0 PHz	>19.9E-18 J
	Ultravioleta Extremo	< 200 nm	>1.5 PHz	>993E-21 J
	Ultravioleta Cercano	< 380 nm	>789 THz	>523E-21 J
<b>No ionizantes</b>	Luz Visible	< 780 nm	>384 THz	>255E-21 J
	Infrarrojo Cercano	< 2.5 μm	>120 THz	>79.5E-21 J
	Infrarrojo Medio	< 50 μm	>6.00 THz	>3.98E-21 J
	Infrarrojo Lejano	< 1 mm	>300 GHz	>199E-24 J
	Microondas	< 30 cm	>1.0 GHz	>1.99e-24 J
	Ultra Alta Frecuencia Radio	<1 m	>300 MHz	>1.99e-25 J
	Muy Alta Frecuencia Radio	<10 m	>30 MHz	>2.05e-26 J
	Onda Corta Radio	<180 m	>1.7 MHz	>1.13e-27 J
	Onda Media (AM) Radio	<650 m	>650 kHz	>4.31e-28 J
	Onda Larga Radio	<10 km	>30 kHz	>1.98e-29 J
	Muy Baja Frecuencia Radio	>10 km	<30 kHz	<1.99e-29 J

**E=exa=10<sup>18</sup>, P=peta=10<sup>15</sup>, T=tera=10<sup>12</sup>, M=mega=10<sup>6</sup>, p=pico 10<sup>-12</sup>**

## Energía de la radiación (tipo de radiación)

El electronvoltio (eV) es una **unidad de energía** que representa la energía cinética que adquiere un electrón cuando es acelerado por una diferencia de potencial de 1 voltio

<i>electronvoltio</i>	
<b>Magnitud:</b>	Energía
<b>Símbolo:</b>	<b>eV</b>
<b>Expresada en:</b>	<b>1 eV =</b>
<i>Unidades básicas del Sistema Internacional</i>	<b>Equivale a <math>1,602176462 \times 10^{-19}</math> J</b>

1 electrón voltio (eV) =  $1,602 \times 10^{-19}$  julio (J)

1 electrón voltio (eV) =  $1,602 \times 10^{-12}$  ergio (erg)

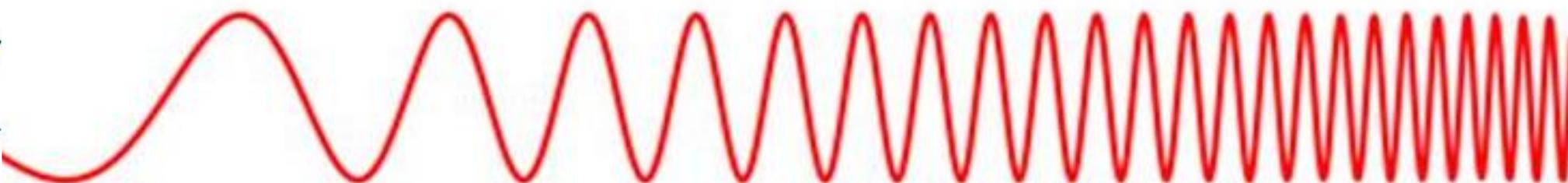
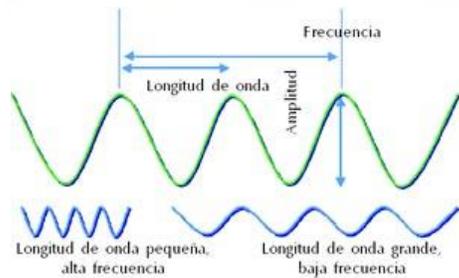
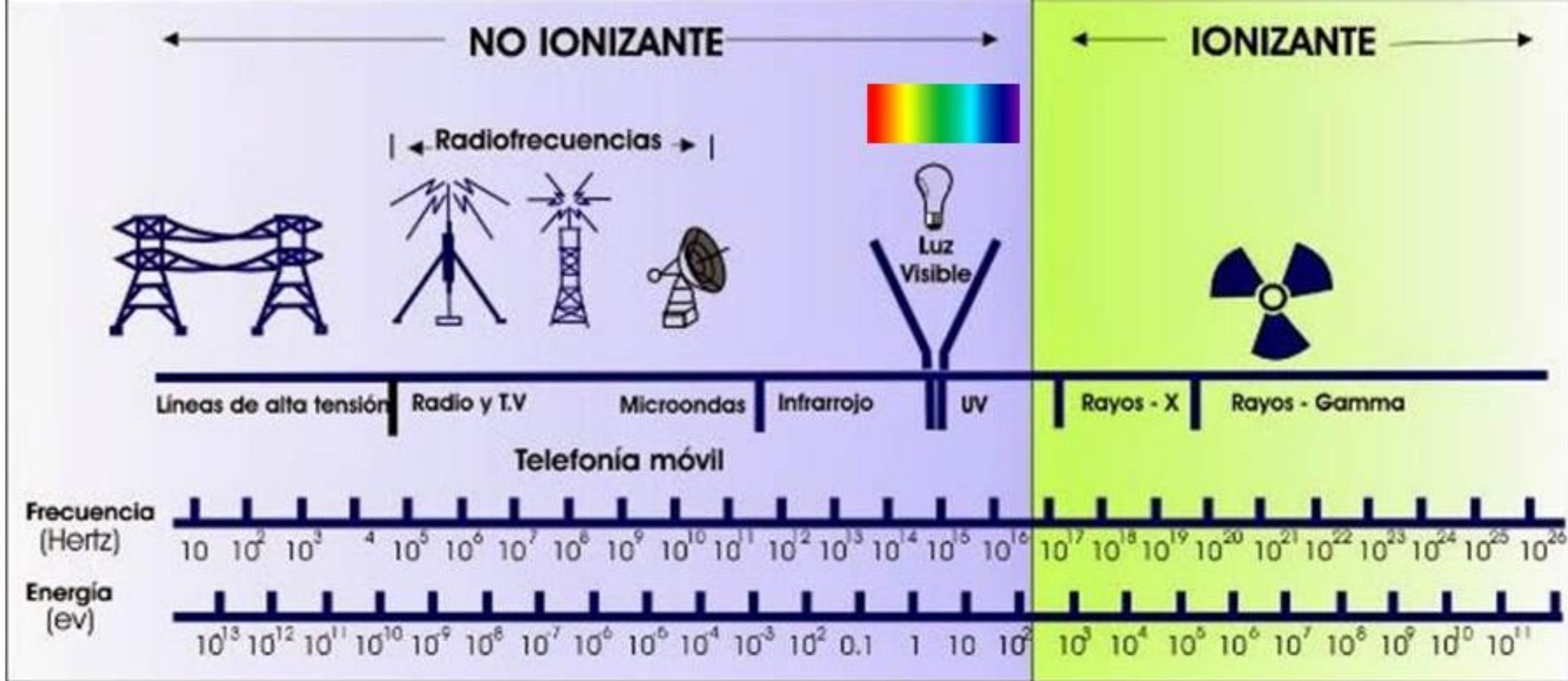
1 electrón voltio (eV) =  $3,829 \times 10^{-20}$  caloría (cal)

1 electrón voltio (eV) =  $4,45 \times 10^{-26}$  kilowatio hora (kW.h)

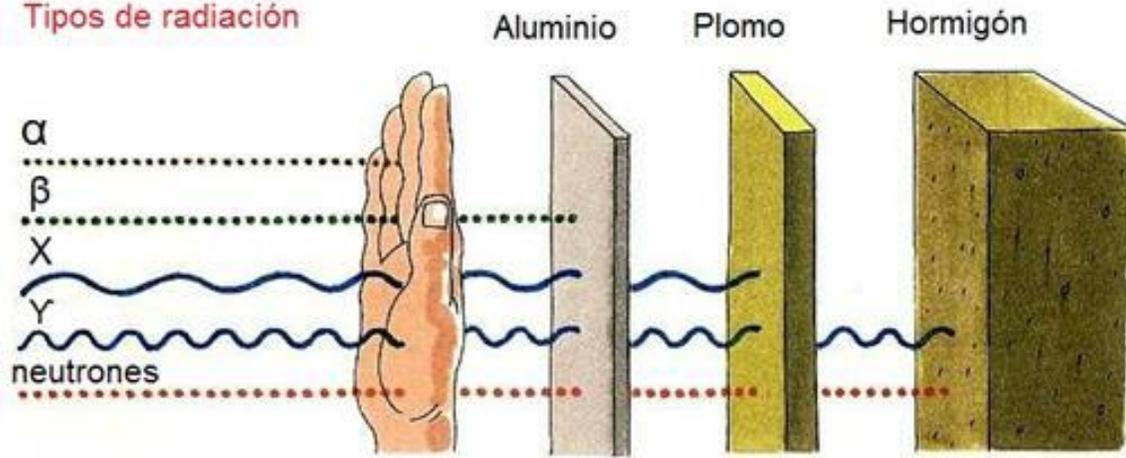
1 electrón voltio (eV) =  $1,182 \times 10^{-19}$  pie libra (ft lb)

1 electrón voltio (eV) =  $5,968 \times 10^{-26}$  caballo de vapor hora (hp h)

1 electrón voltio (eV) =  $1,52 \times 10^{-22}$  unidad térmica británica (btu)



## Tipos de radiación



La profundidad de penetración depende de la energía de los rayos, entre más alta la energía (longitud de onda más corta), mayor penetración

$\alpha$ : atraviesan unos 25 mm de aire; detenidas por una simple hoja de papel o piel humana. Energía hasta 5 MeV pero muy voluminosas

$\beta$ : atraviesan varios metros de aire, unos cuantos centímetros de tejido corporal o varios mm de plástico. Detenida por unos pocos mm de aluminio. Energía típica: cientos de keV a pocos MeV

R-X de baja energía: atraviesan varios metros de aire, unos cuantos centímetros de tejido corporal o varios mm de metal o de plástico, detenidos por placa de plomo

$\gamma$ : Pueden necesitarse entre 5 y 25 cm de plomo o hasta 3 m de hormigón para conseguir una protección adecuada. Su intensidad se reduce al pasar a través de la materia (dependiendo de su energía y de la densidad del material)

## CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR IRRADIACIÓN

EL PROCESO DE IRRADIACIÓN consiste en exponer los productos a la acción de las **radiaciones ionizantes** durante un cierto lapso, que es **proporcional a la cantidad de energía que deseemos que el alimento absorba**



- Es un proceso físico **no térmico** que se puede utilizar para destruir ciertos microorganismos presentes “**pasteurización en frío**”
- En los alimentos se utilizan dosis inferiores a **10 kGy**. Dosis que se consideran segura, sin riesgo toxicológico.

## MAGNITUDES USADAS EN IRRADIACION

---

**ENERGÍA EMITIDA:** Electrón voltio (eV)  $1\text{eV}=1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

Energía del cuanto de energía electromagnética (fotón) función de su frecuencia

$$E = hv \quad h = 4,13 \text{ eV}, v = \text{frecuencia (Hz)}$$

---

**ENERGÍA ABSORBIDA (DOSIS DE RADIACION): Gray (Gy)**

1 gray = 1 J/kg de masa irradiada

10 kGy ~ energía requerida para aumentar ~ 2°C la T del agua

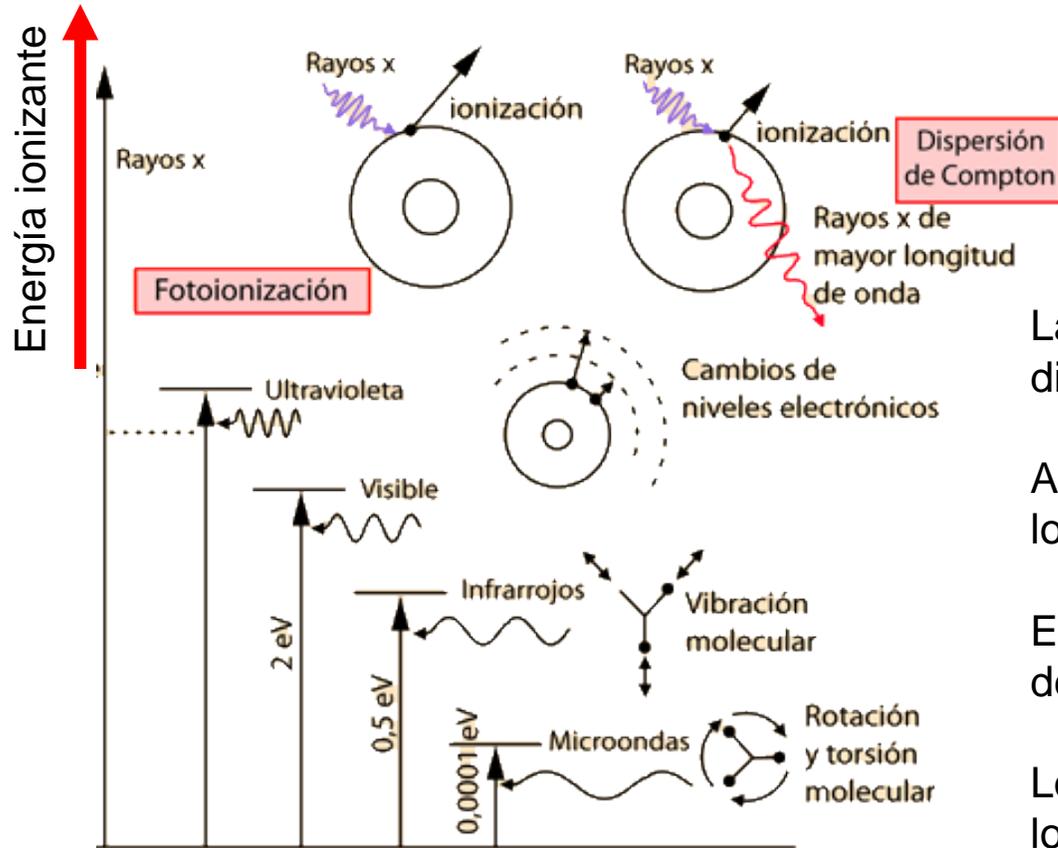
**Dosis depende de:**

f (intensidad de la radiación, tiempo de exposición, localización respecto a la fuente)

f (composición, masa, densidad, grosor)

- Depende de cada alimento, se debe determinar condiciones
- Dosimetrías

## Interacción de la radiación con la materia



Cada porción del espectro electromagnético, tiene las energías cuánticas apropiadas para la excitación de ciertos tipos de procesos físicos.

Las diferentes partes del espectro electromagnético tienen efectos muy diferentes en la interacción con la materia.

A medida que nos desplazamos hacia arriba a través de las microondas y los infrarrojos, hasta la luz visible, se absorben más y más fuertemente.

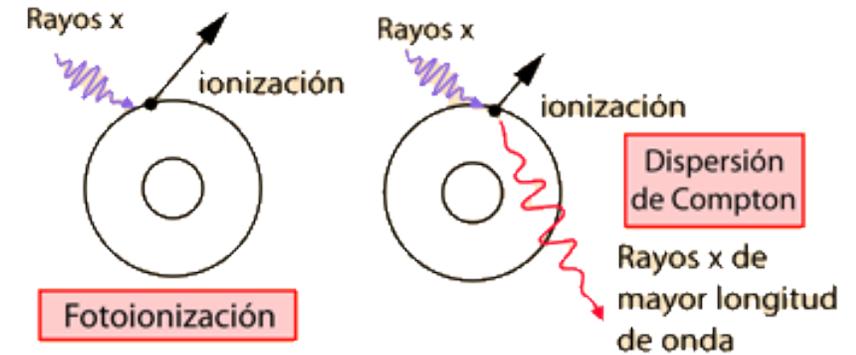
En el rango inferior del ultravioleta (UV del Sol) es absorbido por una delgada capa de nuestra piel.

Los rayos X y gama poseen suficiente energía para liberar electrones de los átomos o moléculas con los que interactúa, creando iones cargados eléctricamente en el proceso.

## Que pasa cuando irradiamos un alimento?

Cuando la energía de los fotones es suficiente puedan viajar largas distancias a través de los materiales antes de interactuar con las moléculas del material. Cuando los fotones atraviesan la materia, chocan con los núcleos y los electrones de esa materia.

**Las colisiones con núcleos no tendrán ningún efecto nuclear o químico;** sin embargo, las **colisiones con los electrones provocarán el efecto químico de la ionización.**



Durante una **colisión**, parte de la energía de los fotones es absorbida ("**atenuada**"). El fotón (ahora menos energético) continuará chocando con los átomos hasta que toda la energía sea absorbida y posteriormente convertida en una pequeña cantidad de **energía térmica**.

Los fotones que chocan con los electrones pueden transmitir parte de su energía a esos electrones, sacándolos de órbita ("**ionización**").

Los **electrones energizados** viajarán a través de la materia hasta que colisionen con un núcleo o electrón, teniendo un efecto similar al de los fotones originales que viajan a través del material ("**acumulación**"). Esto continuará hasta que toda la energía del fotón y los electrones resultantes se hayan transferido a la materia.

La energía acumulada que se ha transferido se denomina **DOSIS**

La energía absorbida debe ser suficiente para **PRODUCIR IONIZACIÓN** pero no debe generar

**RADIOACTIVIDAD INDUCIDA**

- Se produce por Impacto de fotones de energía **superior a 25 MeV** que penetran y arrancan o destruyen partículas del núcleo atómico bombardeado, formando un nuevo núcleo
- Formación de isótopos inestables (desintegran)



**EFFECTOS NO DESEADOS DE LA IRRADIACION DE LOS ALIMENTOS**

# EFFECTOS BUSCADOS EN LA IRRADIACION DE LOS ALIMENTOS

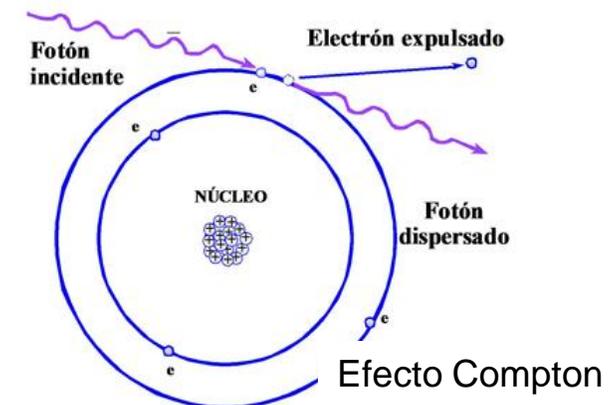
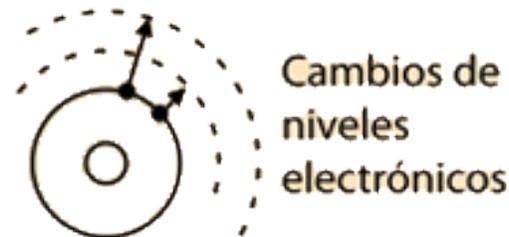
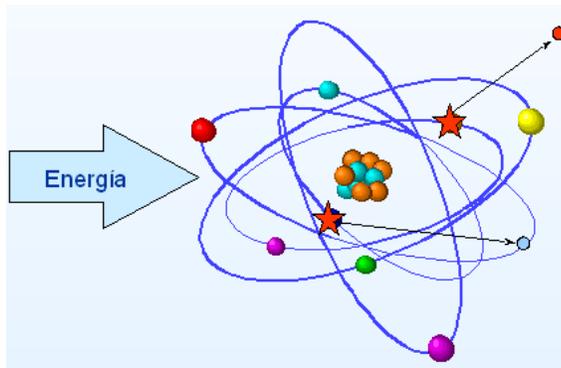


## Efectos físicos de la radiación (deseados en la irradiación de alimentos)



La irradiación con energía suficiente produce:

- Expulsión de electrones de los orbitales de los átomos y moléculas: IONES.
- Excitación (electrones orbitales desplazados a un orbital de mayor energía)
- Radicales libres



## FUENTES DE ENERGÍA IONIZANTES USADAS EN ALIMENTOS:

- **Ondas electromagnéticas (mayor penetración)**

  - Rayos gamma**

  - Rayos X (hasta 5 MeV)**

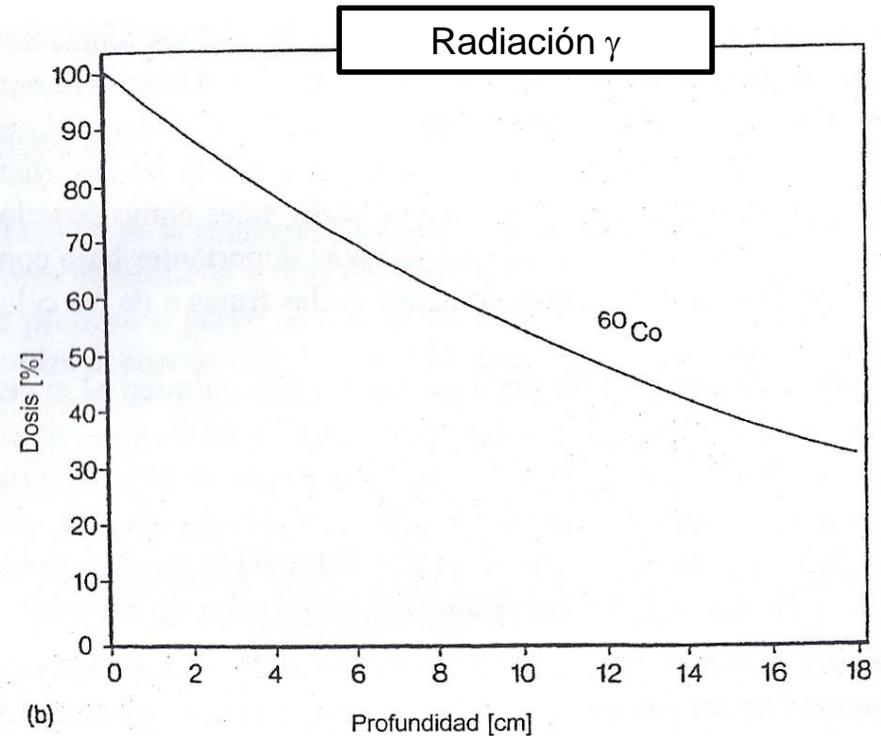
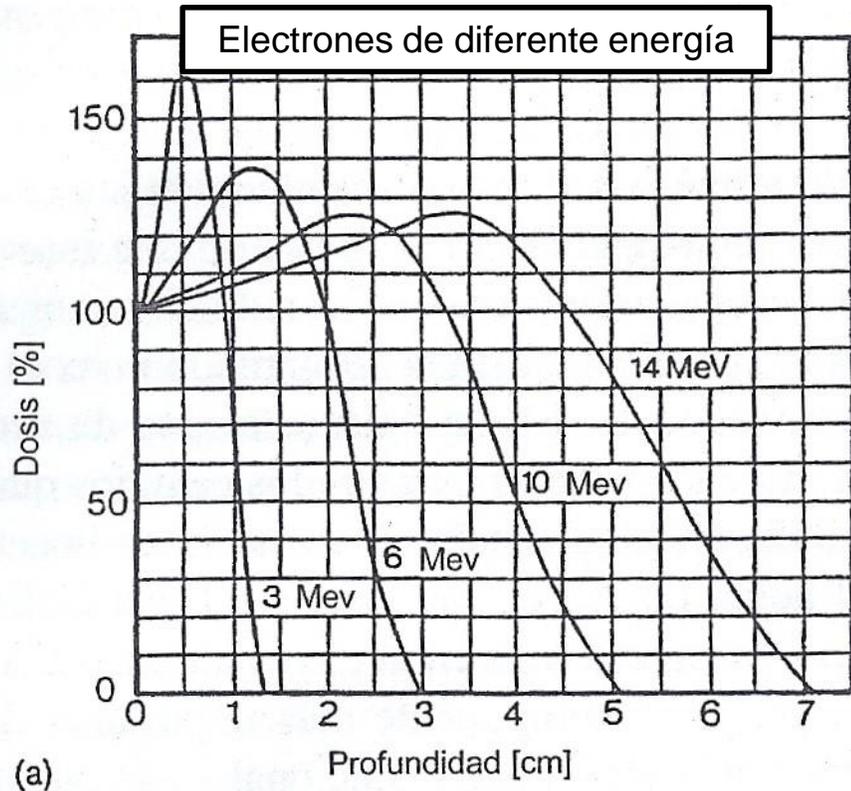
- **Electrones acelerados (hasta 10 MeV) (menor penetración)**

Los fotones/electrones se atenúan a medida que pasan a través del producto y la intensidad de los fotones disminuye con la distancia recorrida.

El perfil de distribución de la dosis depende de la energía de los fotones/electrones, la distancia que recorre el fotón y la atenuación característica y la acumulación del material que se irradia.

El perfil de distribución de la dosis (energía absorbida) de radiación varía según la superficie y el interior del alimento, lo que depende de la energía de la radiación, densidad del alimento y del tipo de radiación utilizada.

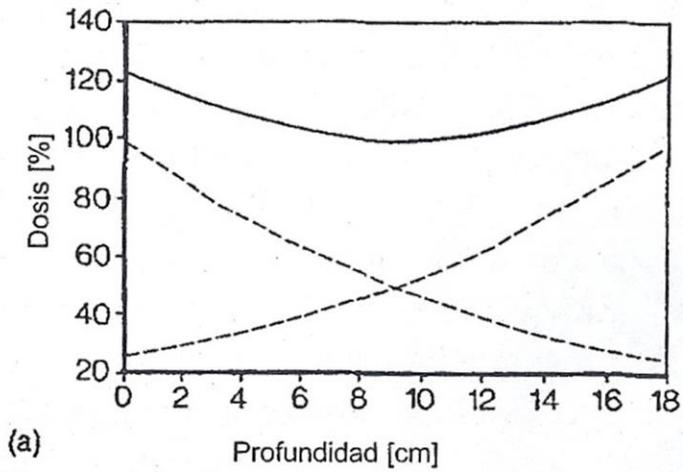
Distribución profundidad-dosis en agua desde una cara



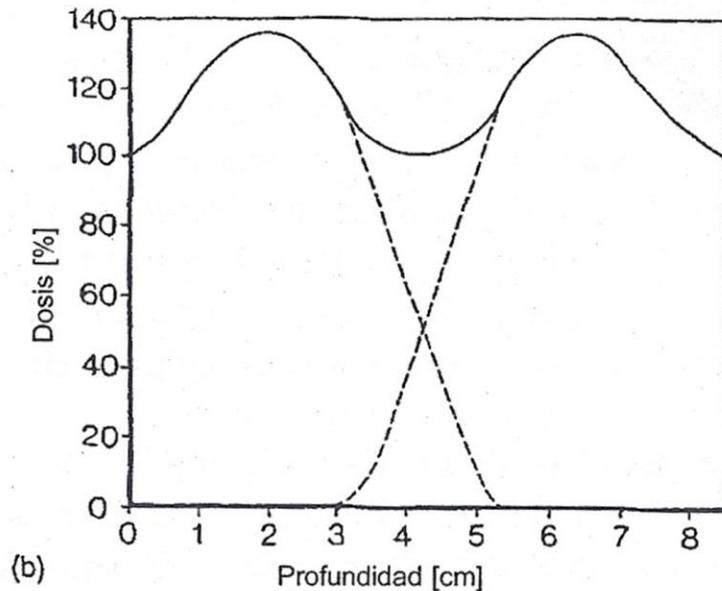
Electrones acelerados : Pierden energía rápidamente al interactuar con agua. Límite 4 cm (10 MeV). **Menor profundidad**

Rayos  $\gamma$  y X: reducción continua. **Mayor profundidad**

## Distribución profundidad-dosis en agua desde dos caras



Radiación Gama: permite tratamiento de envases de alimentos mas gruesos



Electrones acelerados: Límite 8 cm (10 MeV)

**Figura 5.3** Distribución profundidad-dosis en agua desde dos caras: (a) radiación  $\gamma$ , (b) electrones 10 MeV. Las líneas discontinuas indican la distribución de dosis para irradiación de una cara; adaptado de Diehl [3].

# EFFECTOS QUÍMICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN ALIMENTOS

La aplicación de radiación ionizante y su absorción produce:

## **EFFECTO PRIMARIO** (acción directa):

Rupturas de enlaces químicos y pérdida de la "estabilidad" de los átomos y/o moléculas

Excitación molecular  
/ Ionización

IONES Y  
RADICALES  
LIBRES (*muy reactivos*)

**EFFECTO SECUNDARIO** (acción indirecta): como consecuencia del efecto primario

combinan entre sí o con  
otras especies vecinas

Formación de nuevos compuestos (estables)

**PRODUCTOS RADIOLÍTICOS**

La suma de  
efectos se  
denomina

**RADIÓLISIS**

## MOLÉCULAS MAS AFECTADAS POR LA ABSORCION DE RADIACION:

La absorción de energía es mayor cuanto mayor es el número de electrones de los átomos de una molécula y, por tanto, cuanto mayor es su masa molecular

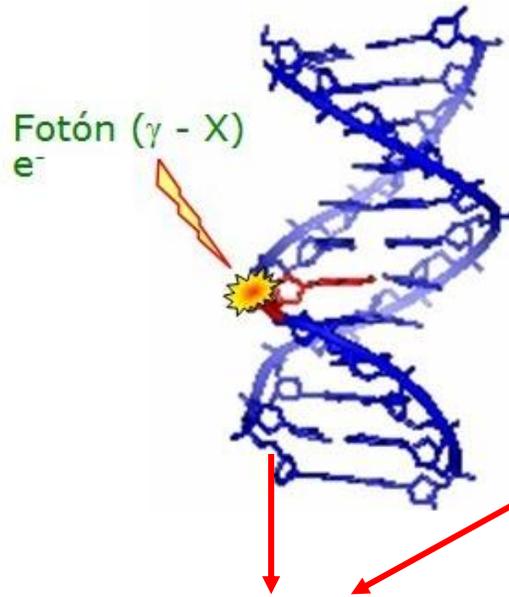
**ADN:** ácidos nucleicos de mayor complejidad en alimentos. La dosis letal de irradiación para cada organismo vivo disminuye a medida que aumenta la complejidad de su ADN

**AGUA (Mayor componente de los alimentos y microorganismos):** la irradiación produce la formación de especies reactivas como radicales hidrógeno ( $\text{H}^*$ ) e hidroxilo ( $^*\text{OH}$ ),  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

El  $\text{O}_2$  disuelto en el agua puede reaccionar con los radicales hidrógeno para formar **radicales hidropéroxido**, o con los electrones libres para formar **aniones superóxido**.

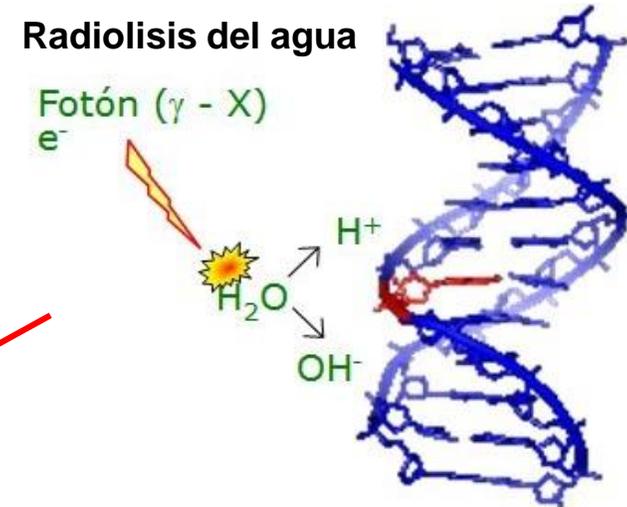
## MECANISMOS DE INACTIVACIÓN MICROBIANA POR RADIACIONES IONIZANTES

**ACCION DIRECTA:** es consecuencia de los cambios químicos producidos sobre las moléculas como resultado de la absorción de la energía radiante (ionización -desplazamiento de electrones de sus órbitas habituales dando lugar a la formación de iones, radicales libres y partículas excitadas)



La ruptura de las dos cadenas de la doble hélice de ADN constituye un daño irreversible que la célula normalmente no es capaz de reparar

**ACCION INDIRECTA:** se debe a la interacción de los radicales libres -formados por la acción directa de la radiación en los componentes celulares o del medio, especialmente del agua- con moléculas vitales para la supervivencia microbiana.



Este efecto es mayor cuanto mayor es el contenido acuoso del medio tratado, dado que la irradiación provoca la formación, a partir del agua, de diferentes especies reactivas, como iones y radicales. Es el Principal responsable de la mayoría de los efectos biológicos de la irradiación

## LOS BENEFICIOS MÁS IMPORTANTES DE ESTA TÉCNICA SON:



- ❖ La mayor calidad microbiológica que ofrecen estos alimentos.
- ❖ Aumento de la vida de los alimentos tratados. Retraso del deterioro natural de carnes, cereales y frutas.
- ❖ Disminuye la utilización de compuestos químicos. Por ejemplo, el uso de fumigantes en las especias y condimentos (residuos tóxicos).
- ❖ Las proteínas son resistentes a la irradiación, con poco efecto sobre la digestibilidad y la composición de aminoácidos: Baja o nula pérdida de calidad nutricional. Cambios mínimos en estructuras 3° y 4° (solo se afecta su funcionalidad)

## ASPECTOS NEGATIVOS



- Lípidos: son la macromolécula más sensible a la irradiación debido a la autooxidación inducida por la irradiación o al impacto directo o indirecto de la irradiación en las moléculas de lípidos.
- El grado de pérdida de vitamina no es diferente del procesamiento térmico. Vitaminas más afectadas A, C, B y E; ácidos grasos esenciales.
- En frutas y hortalizas: puede producirse ablandamiento por hidrólisis almidón, pectinas y celulosa (ruptura enlace glicosídico).
- Olor y sabor típico a radiación relacionado con oxidación de grasas y proteínas (mucho menor efecto), más pronunciado después de la irradiación y decrece e incluso desaparece durante almacenamiento/cocción)
- El color del producto también puede verse afectado (oscurecimiento en las carnes).

Estos efectos se minimizan si los alimentos se refrigeran/congelan, envasan al vacío/MAP, o se incorporan antioxidantes durante el proceso de irradiaciónse

- Generación de **PRODUCTOS RADIOLÍTICOS**: son agregados proteicos, ácidos orgánicos: acético, glicólico, derivados de vitaminas, derivados de D-glucosa y D-fructosa, volátiles de bajo peso molecular, productos de recombinación

COMPUESTOS RADIOLÍTICOS no presentan riesgos para la salud  
(los mismos compuestos se forman al realizarse la cocción de los alimentos u otros procesos de conservación)

De acuerdo con la cantidad de energía entregada, se pueden lograr distintos efectos

## Clasificación de la OMS según la dosis

### *Food Irradiation Applications*

Benefit	Dose (kGy)	Products
<b>Low-dose (up to 1 kGy)</b>		
(i) Inhibition of sprouting	0.05 - 0.15	Potatoes, onions, garlic, root ginger, yam etc.
(ii) Insect disinfestation and parasite disinfection	0.15 - 0.5	Cereals and pulses, fresh and dried fruits, dried fish and meat, fresh pork, etc.
(iii) Delay of physiological processes (e.g. ripening)	0.25 - 1.0	Fresh fruits and vegetables.
<b>Medium-dose (1-10 kGy)</b>		
(i) Extension of shelf-life	1.0 - 3.0	Fresh fish, strawberries, mushrooms etc.
(ii) Elimination of spoilage and pathogenic microorganisms	1.0 - 7.0	Fresh and frozen seafood, raw or frozen poultry and meat, etc.
(iii) Improving technological properties of food	2.0 - 7.0	Grapes (increasing juice yield), dehydrated vegetables (reduced cooking time), etc.
<b>High-dose (10-50 kGy)</b>		
(i) Industrial sterilization (in combination with mild heat)	30 - 50	Meat, poultry, seafood, prepared foods, sterilized hospital diets.
(ii) Decontamination of certain food additives and ingredients	10 - 50	Spices, enzyme preparations, natural gum, etc

**Dosis letal para el hombre 5 KGy**

## RADIORRESISTENCIA DE LOS MICROORGANISMOS:

+ resistentes

virus > esporas bacterianas > bacterias gram positivas >  
bacterias gram negativas > mohos y levaduras > parásitos

- resistentes

## Factores que influyen en la letalidad de las radiaciones ionizantes:

Temperatura

Actividad del agua del medio



En general a medida que descienden estos dos parámetros  
aumenta la radiorresistencia.

## Efecto sobre microorganismos

El impacto directo de los fotones/electrones y los efectos indirectos de especies reactivas generadas y los iones libres provocan daños en el ADN y ARN celular y en las membranas celulares.

Actividad enzimática también se ve afectada: deteriora funcionamiento normal de la célula y provoca la desvitalización o la muerte del organismo.

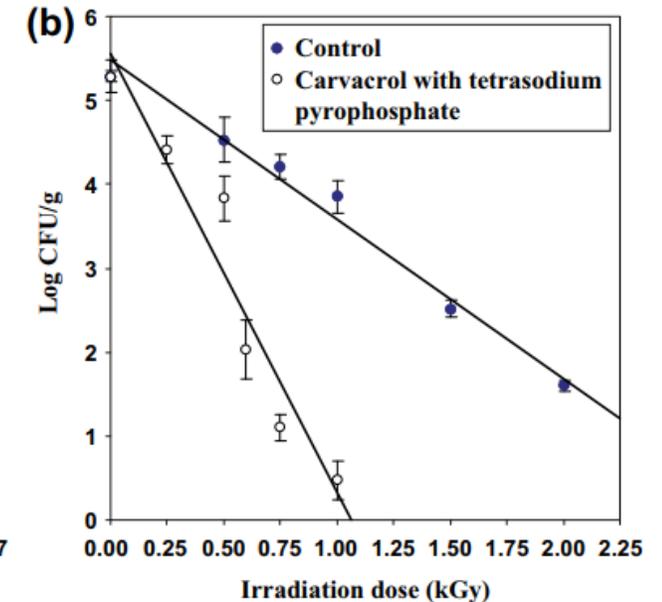
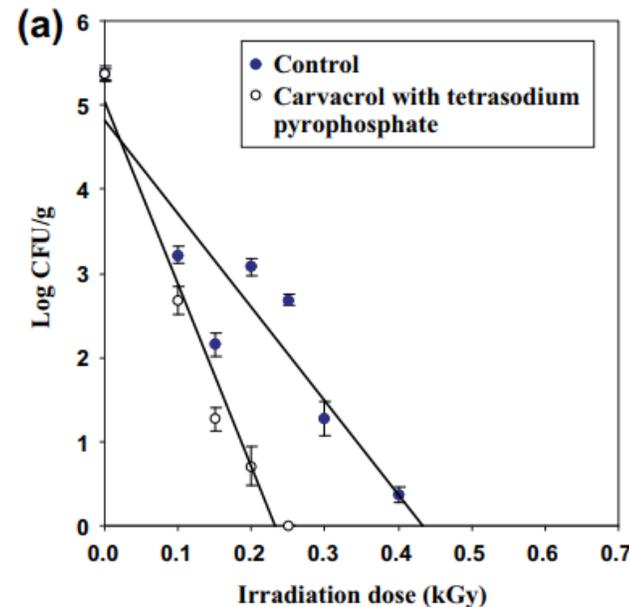


La sensibilidad a la irradiación se expresa como valor D, que es la dosis requerida para una reducción de un logaritmo o del 90% de las células microbianas.



Los valores D de patógenos bacterianos oscilan entre:

- 0,24 kGy para *Escherichia coli* O157: H7
- 0,45 kGy para *Salmonella* spp.
- 2-4 kGy para bacterias formadoras de esporas como *Clostridium botulinum*.



Radiosensibilización de *E. coli* (a) y *Salmonella typhi* (b) en carne molida envasada bajo MAP en presencia de carvacrol (conservante natural) y pirofosfato tetrasódico.

## FUENTES DE RADIACION

**RAYOS GAMMA:** muy corta longitud de onda, alta frecuencia y elevada energía

$^{60}\text{Co}$  - Vida media: 5,3 años

Emite:

- rayos  $\gamma$  de 1,17 y 1,33 MeV
- electrones de 0,31 MeV (no atraviesan el contenedor del Co)
- Único disponible en nuestro país

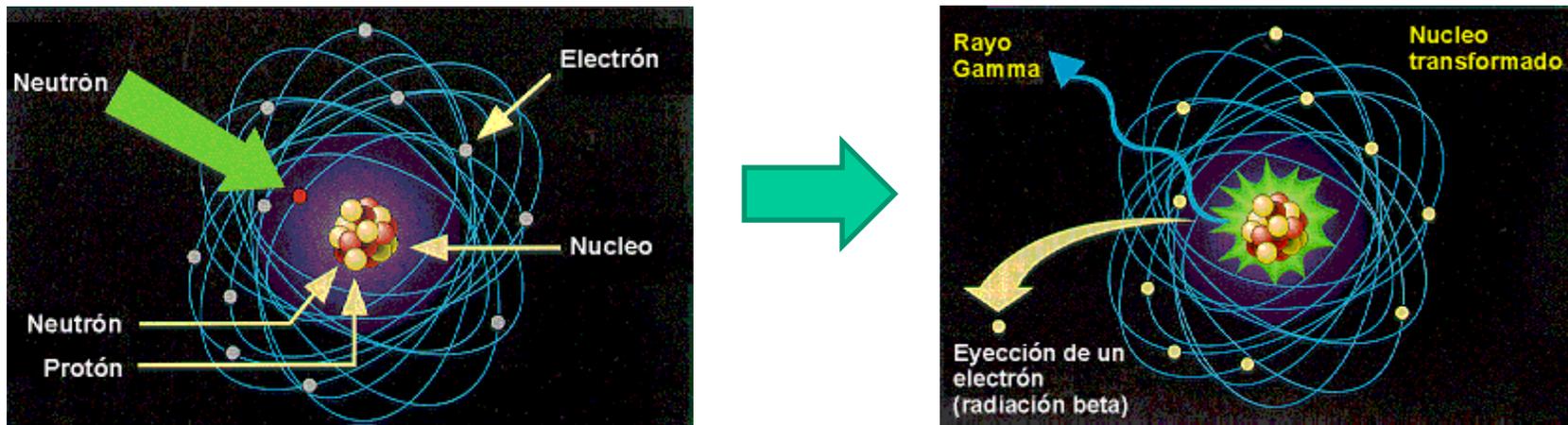
$^{137}\text{Cs}$  - Vida media: 30 años

Emite rayos  $\gamma$  de 0,66 MeV

Baja cantidad, no comercial

Producen radiación altamente penetrante y pueden ser usados para tratamientos de alimentos frescos y congelados en cajas.

Los rayos gamma provenientes de  $^{60}\text{Co}$  y  $^{137}\text{Cs}$ , poseen longitudes de onda muy cortas (similares a UV y microondas); y debido a que no pueden quitar neutrones (menor energía), los productos y envases irradiados no se vuelven radioactivos.



Se lo obtiene a partir del Cobalto en su estado natural, llamado Cobalto-59, exponiéndolo a un flujo de neutrones. Estos neutrones se pueden producir en gran cantidad en los reactores nucleares.

Argentina: se usa la Central Nucleoeléctrica de Embalse para su producción.



**Instalaciones de irradiación:** bajo licencia y son inspeccionadas periódicamente por el organismo gubernamental correspondiente

Elevadores

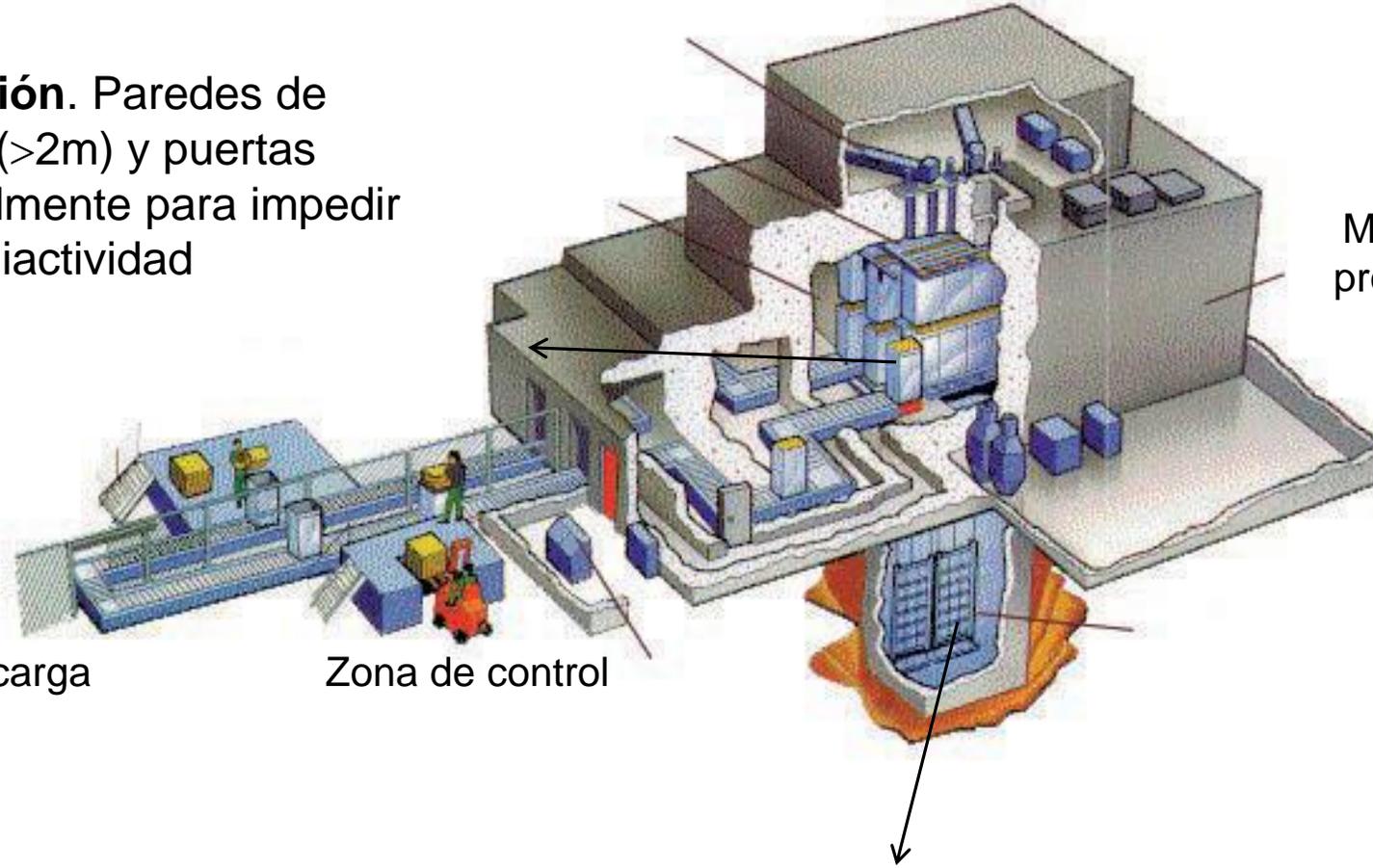
**Cámara de radiación.** Paredes de hormigón gruesas (>2m) y puertas diseñadas especialmente para impedir la liberación de radiactividad

Zona de descarga

Zona de carga

Zona de control

Muros de protección



**La piscina de almacenamiento** es el lugar donde se encuentran las fuentes radiactivas de Cobalto-60 mientras no se está tratando nada. El agua actúa de blindaje contra la energía radiactiva, protegiendo a los operadores cuando tienen que entrar en la sala. Automatizado.

Los productos pasan por el campo de irradiación dentro de la cámara a una velocidad controlada con precisión para absorber la cantidad de energía necesaria para el tratamiento. Después del tratamiento, pueden manipularse inmediatamente



## **VENTAJAS**

- Alta penetración del rayo electromagnético
- Alta energía
- Fiabilidad de la fuente que irradia naturalmente
- Bajo costo

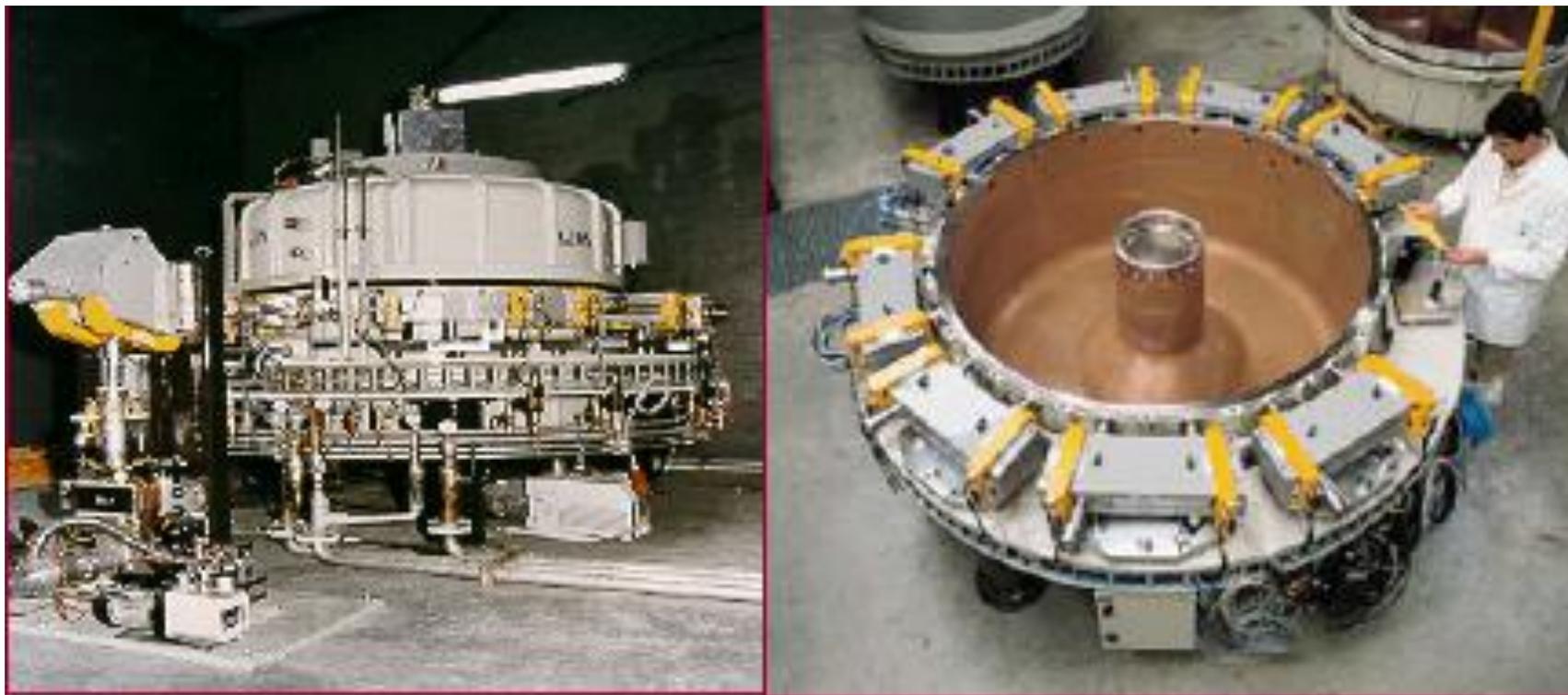
## **INCONVENIENTES**

- Emisión permanente de irradiación (on/off)
- Pérdida anual de la actividad de irradiación (depende vida media)
- Renovación periódica
- Transporte, mantenimiento, estocaje de fuentes radiactivas
- Instalación radiactiva
- Tratamiento continuo pero sobre un volumen permanente elevado de material: no flexibilidad de dosis y de lote

## FUENTES DE RADIACION

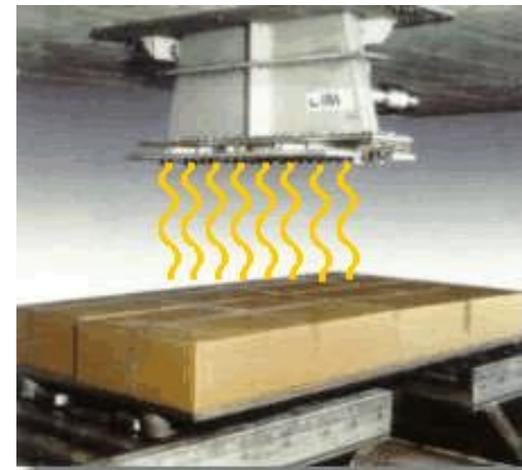
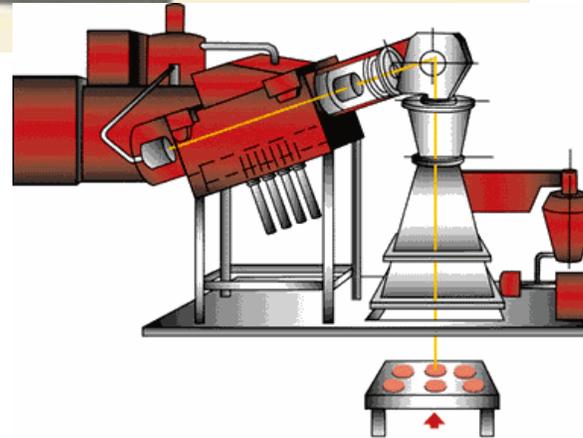
### ELECTRONES ACELERADOS

Los electrones acelerados (hasta 10 MeV) se pueden utilizar directamente o convertidos a Rayos X (5 MeV, mas penetrantes) mediante interacción con un material adecuado



**Equipo:** consisten de un cátodo que a altas temperaturas emite electrones. Cuando se aplica un alto voltaje entre el ánodo y el cátodo, los electrones son acelerados alcanzando altas velocidades (gran energía), chocando entonces contra el blanco metálico, lo que produce un espectro continuo de rayos X

# INSTALACIONES



## **VENTAJAS**

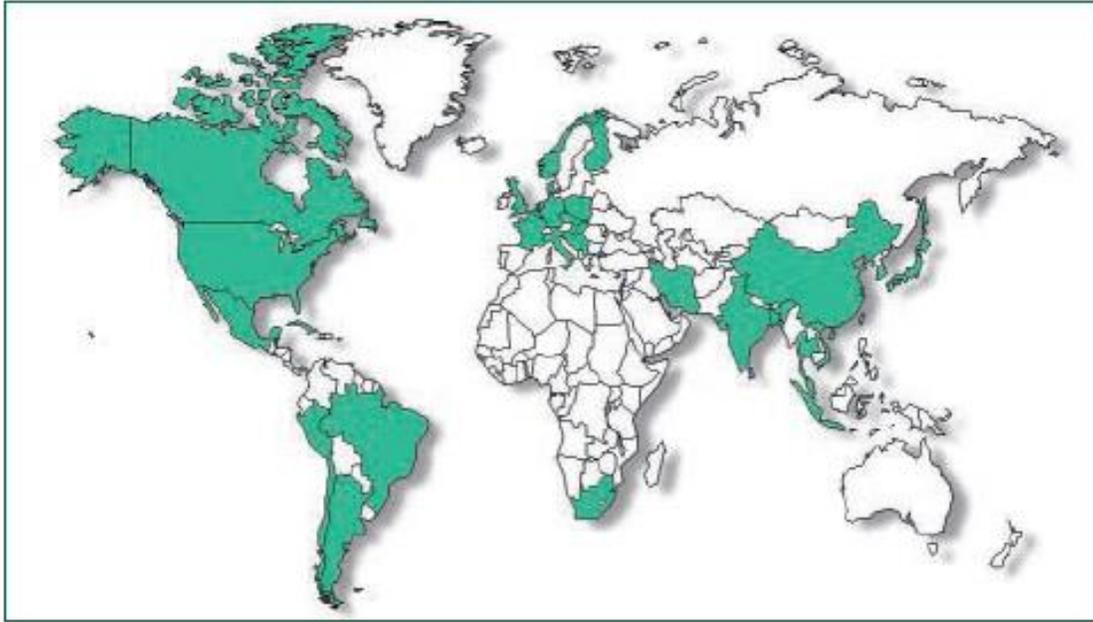
- Fuente eléctrica: sólo funciona cuando se necesita
- Excelente rendimiento, desde el 60 % (por una cara) hasta el 80% (por dos caras)
- Tratamiento continuo en acondicionamiento unitario, fácil cambio de lote y/o dosis
- Producto tratado disponible en pocos minutos
- Alta capacidad de dosis, algunos kGy/s (limitan riesgos de degradación)
- Ausencia de impacto ambiental

## **INCONVENIENTES**

- Penetración limitada del rayo constituido por electrones acelerados de 10 MeV
- Espesores no mayores de 5-10 centímetros.

## Foods Permitted to be Irradiated Under FDA Regulations

Food	Purpose	Dose
<b>Fresh, non-heated processed pork</b>	Control of <i>Trichinella spiralis</i>	0.3 to 1 kGy max.
<b>Fresh foods</b>	Growth and maturation inhibition	1 kGy max.
<b>Foods</b>	Arthropod disinfection	1 kGy max.
<b>Dry or dehydrated Enzyme preparations</b>	Microbial disinfection	10 kGy max.
<b>Dry or dehydrated spices/seasonings</b>	Microbial disinfection	30 kGy max.
<b>Fresh or frozen, uncooked poultry products</b>	Pathogen control	3 kGy max.
<b>Frozen packaged meats (solely NASA)</b>	Sterilization	44 kGy min.
<b>Refrigerated, uncooked meat products</b>	Pathogen control	4.5 kGy max.
<b>Frozen uncooked meat products</b>	Pathogen control	7 kGy max.
<b>Fresh shell eggs</b>	Control of <i>Salmonella</i>	3.0 kGy max.
<b>Seeds for sprouting</b>	Control of microbial pathogens	8.0 kGy max.
<b>Fresh or frozen molluscan shellfish</b>	Control of <i>Vibrio</i> species and other foodborne pathogens	5.5 kGy max.
<b>Fresh iceberg lettuce and fresh spinach</b>	Control of food-borne pathogens, and extension of shelf-life	4.0 kGy max.



 Countries which apply food irradiation for commercial purposes

 Do not yet apply food irradiation

La legislación de 40 países autoriza el consumo de diversos alimentos irradiados en el mundo

En nuestro país, el Código Alimentario Argentino (Resolución Conjunta 13-E/2017) autoriza la utilización de la irradiación en diferentes alimentos

La legislación establece además un código de prácticas para el funcionamiento de instalaciones de irradiación de alimentos destinados al consumo humano.

## CAA

**Art 174** - (Res 1322, 20.07.88) "Se entiende por conservación, por radiación ionizante ó energía ionizante, someter los alimentos a la acción de alguna de las siguientes fuentes de energía:

- Rayos Gamma de los radionucleidos Co60 o Cs137.
- Rayos X generados por máquinas que trabajen a energías de 5 MeV ó inferiores.
- Electrones generados por máquinas que trabajen a energías de 10 MeV ó inferiores.

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

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

La dosis absorbida media global que se haya acumulado no deberá exceder de 10 kGy.

CLASE DE ALIMENTOS Y PROPÓSITO DE LA IRRADIACIÓN	LÍMITE MÁXIMO (kGy)
<b>CLASE 1 - BULBOS, TUBÉRCULOS Y RAÍCES</b>	
Inhibir la brotación durante el almacenamiento.	0,2
<b>CLASE 2 – FRUTAS Y VEGETALES FRESCOS (distintos de los de la Clase 1)</b>	
a) Retrasar la maduración.	1,0
b) Desinfestación de insectos.	1,0
c) Control de microorganismos alterantes.	2,5
d) Control cuarentenario.	1,0
<b>CLASE 3 – CEREALES Y SUS HARINAS, LEGUMBRES, SEMILLAS OLEAGINOSAS, FRUTAS SECAS</b>	
a) Desinfestación de insectos.	1,0
b) Control de microorganismos alterantes y patógenos.	5,0
<b>CLASE 4 – VEGETALES Y FRUTAS DESECADOS O DESHIDRATADOS, CONDIMENTOS VEG, TE Y HIERBAS P/NFUSIONES</b>	
a) Control de microorganismos patógenos.	10
b) Desinfestación de insectos.	1,0
<b>CLASE 5 – HONGOS DE CULTIVO COMESTIBLES, FRESCOS</b>	
a) Control de microorganismos alterantes.	3,0
<b>CLASE 6 – PESCADOS Y MARISCOS, Y SUS PRODUCTOS (FRESCOS Y CONGELADOS)</b>	
a) Control de microorganismos alterantes y patógenos.	5,0 (**)
b) Control de parásitos.	2,0 (***)
<b>CLASE 7 – AVES, CARNES BOVINA, PORCINA, CAPRINA, OTROS Y SUS PRODUCTOS (FRESCOS Y CONGELADOS)</b>	
a) Control de microorganismos alterantes y patógenos.	7,0 (**)
b) Control de parásitos.	3,0 (***)
<b>CLASE 8 – ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL DESECADOS</b>	
a) Control de insectos.	1,0
b) Control de hongos.	3,0

(\*) La dosis media global absorbida no deberá ser mayor de 30 kGy.

(\*\*) La dosis mínima es definida sobre la base de la calidad higiénica del producto.

(\*\*\*) La dosis mínima puede ser definida sobre la base del tipo de parásito.

**Mundo:** Se comercializan ~700.000 t por año de alimentos irradiados.

Productos mas comunes: especias y otros alimentos deshidratados.

Alrededor de 200 instalaciones de irradiación en operación, en su gran mayoría, plantas gamma (de Cobalto-60); las otras emplean aceleradores de electrones.

## **Argentina:**

Posee extensa trayectoria en I+D+i de **la Comisión Nacional de Energía Atómica**, institución de referencia en la materia a nivel regional.

Producción de radioisótopos (desde 1983) en la Central Nuclear de Embalse

El tratamiento se aplica en dos plantas de cobalto-60 en dos plantas en la provincia de Buenos Aires: Centro Atómico Ezeiza (CAE) y IONICS SA

También se irradian otros productos (mayormente deshidratados): **cacao en polvo, suero bovino desecado, hígado desecado, huevo desecado o congelado, vegetales deshidratados, extracto de carne, polen, harina de soja, harina de legumbres, etc.**

Irradia para el mercado local especias que se introducen como aditivos en otros productos.

El volumen total ~ 4.000 ton/año.

La instalación del Centro Atómico Ezeiza: promotora de esta tecnología, desarrolla I+D y estudios de factibilidad

# ROTULACIÓN DE ALIMENTOS IRRADIADOS

Los alimentos irradiados y aquellos que contengan componentes irradiados en una proporción que exceda **el 10% del peso total** y se expendan envasados deben rotularse con una leyenda que indique ***"Alimento tratado con energía ionizante"*** o ***"Contiene componentes tratados con energía ionizante"*** ***respectivamente***, con caracteres de tamaño no menor del 30% de los que indican la denominación del producto.

Debe utilizarse además el logotipo recomendado por el Comité de Etiquetado de Alimentos del Codex Alimentarius, e indicarse la instalación industrial donde ha sido procesado el alimento, la fecha de tratamiento y la identificación del lote.



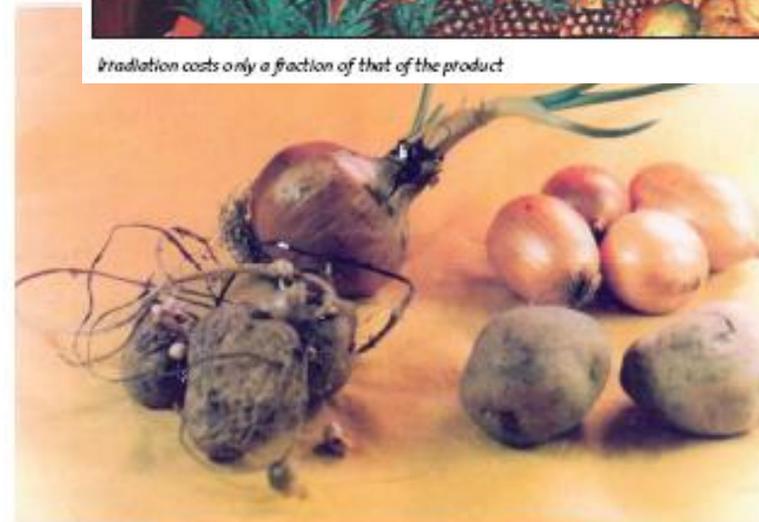
# USOS



CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS



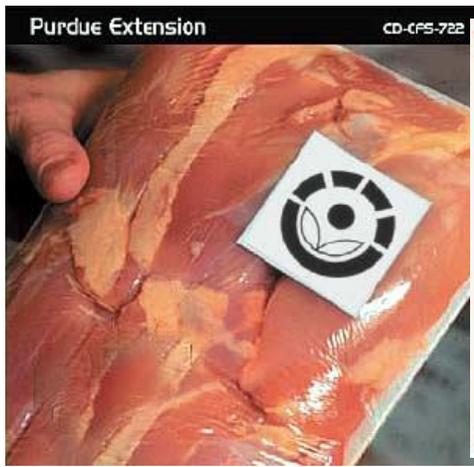
Irradiation costs only a fraction of that of the product



Irradiado

Normal





Frutas y verduras para la eliminación de plagas

Especies y productos deshidratados

**Mejorar la dieta de pacientes inmunocomprometidos:** pacientes inmunodeprimidos como trasplantados, enfermos por HIV o de cáncer que normalmente **no pueden consumir alimentos crudos** sino muy cocidos para que sean alimentos microbiológicamente seguros, esta alternativa de conservación les brinda la posibilidad de ampliar la dieta con vegetales frescos y otros alimentos

## Nutracéuticos



Son tratados por ionización tanto ingredientes como productos terminados, para la protección de la salud de los consumidores.

**Hierbas, tisanas, semillas, algas, cápsulas y comprimidos antioxidantes, energizantes, anti-age, barras liofilizadas, suplementos dietarios y deportivos.**

*Tanto ingredientes como productos terminados son tratados por ionización para la protección de la salud de los consumidores*



Agronómicos



Cosméticos



Dispositivos Médicos



Alimenticios



Nutracéuticos



Farmacéuticos



Veterinarios



Domisanitarios



## Riesgos de la Ionización de alimentos

Las preocupaciones sobre la seguridad de los alimentos irradiados se pueden dividir en:

### 1. Tener derecho a saber qué alimentos están irradiados y cuáles no.



Las regulaciones exigen que el etiquetado de los alimentos irradiados generalmente sea obligatorio. El símbolo internacional Radura se utiliza para alimentos irradiados.



### 2. Los radicales libres producidos durante la irradiación y sus productos (compuestos radiolíticos) afectan la seguridad de los alimentos.



Respecto a los radicales libres: son generalmente estructuras muy reactivas e inestables, que reaccionan con sustancias para formar productos estables, desaparecen al reaccionar entre sí en presencia de líquidos, como la saliva en la boca. Por tanto, la OMS informa que su ingestión no genera ningún efecto toxicológico significativo.

A pesar de los intentos de aislar los productos radiolíticos inducidos por radiación, no se han identificado sustancias verdaderamente exclusivas de los alimentos irradiados. Según un estudio conjunto FAO / OIEA / OMS, los alimentos irradiados en dosis inferiores a 10 kGy no presentan riesgos toxicológicos

### 3. La irradiación destruye las vitaminas y otros nutrientes y disminuye la calidad de los alimentos.



La irradiación no afecta significativamente aminoácidos esenciales, los ácidos grasos esenciales, los minerales, los oligoelementos y la mayoría de las vitaminas, siempre que se realice en condiciones de aplicaciones comerciales reales o potenciales.

La información publicada en este aspecto muestra que el efecto nutricional es menor que las metodologías tradicionales (uso de calor) y por supuesto esto depende de las magnitudes aplicadas

### 4. La irradiación hará que los alimentos sean radiactivos.



Radioactividad inducida. Al revisar la física nuclear básica, es evidente que cuando la energía de enlace de una partícula es menor que la energía absorbida del fotón incidente, esa partícula puede ser expulsada del núcleo y el núcleo restante puede volverse radiactivo.

Por lo tanto, al limitar la energía de los electrones y fotones, especialmente los rayos X, la producción de radionucleidos sería insignificante

## Bibliografía

MANUAL DEL PROCESADO DE ALIMENTOS (EN PAPEL). ISBN 9788420010991. JAMES F. BRENNAN , ACRIBIA EDITORIAL, 2008

L Rossi, D Watson, S Escandarani, A Miranda, A Troncoso. La radiación a la mesa. Rev Chil Infect 2009; 26 (4): 318-330

Food Processing Technology (Third Edition). Principles and Practice. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. P.J. Fellows ISBN: 978-1-84569-216-2

<http://caebis.cnea.gov.ar/aplicaciones/alim/INPPAZ/inppaz.htm>

Genetically Modified and Irradiated Food Controversial Issues: Facts versus Perceptions. 2020. ISBN: 978-0-12-817240-7

Farkas, J., 2006. Irradiation for better foods. Trends in Food Science and Technology 17 (4), 148-152.

Findley, D.J.S., Parsons, T.V., Sene´, M.R., 1993. Irradiation of food and the induction of radioactivity. Radiation Physics and Chemistry 42 (1), 417-420.