

**Universitat de Lleida**



**I Jornadas sobre Energía y Educación en Cataluña  
“ Tecnología Nuclear: Aplicaciones e I+D+i ”  
12 de Julio de 2017 (Barcelona)**

**RADIACIÓN IONIZANTE:  
APLICACIÓN A LA INDUSTRIA  
AGROALIMENTARIA**

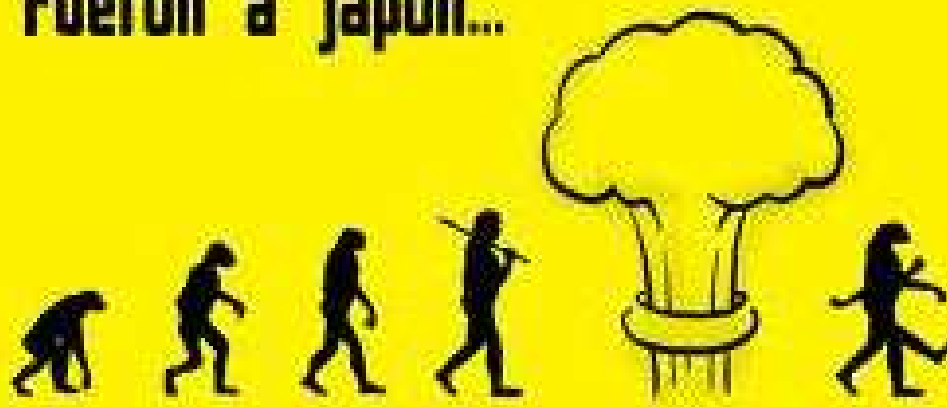
**Dr. Albert Ibarz**

*Departament Tecnologia Aliments*

*Universitat de Lleida*



**Fueron a japón...**



**...y solo me trajeron esta playera.**



Universitat de Lleida

# GRILLED BEEF STEAKS

PRODUCED AT  
NATICK  
PROCESSED AT  
FOOD TECHNOLOGY Service, Inc.  
FOR USE BY

NASA

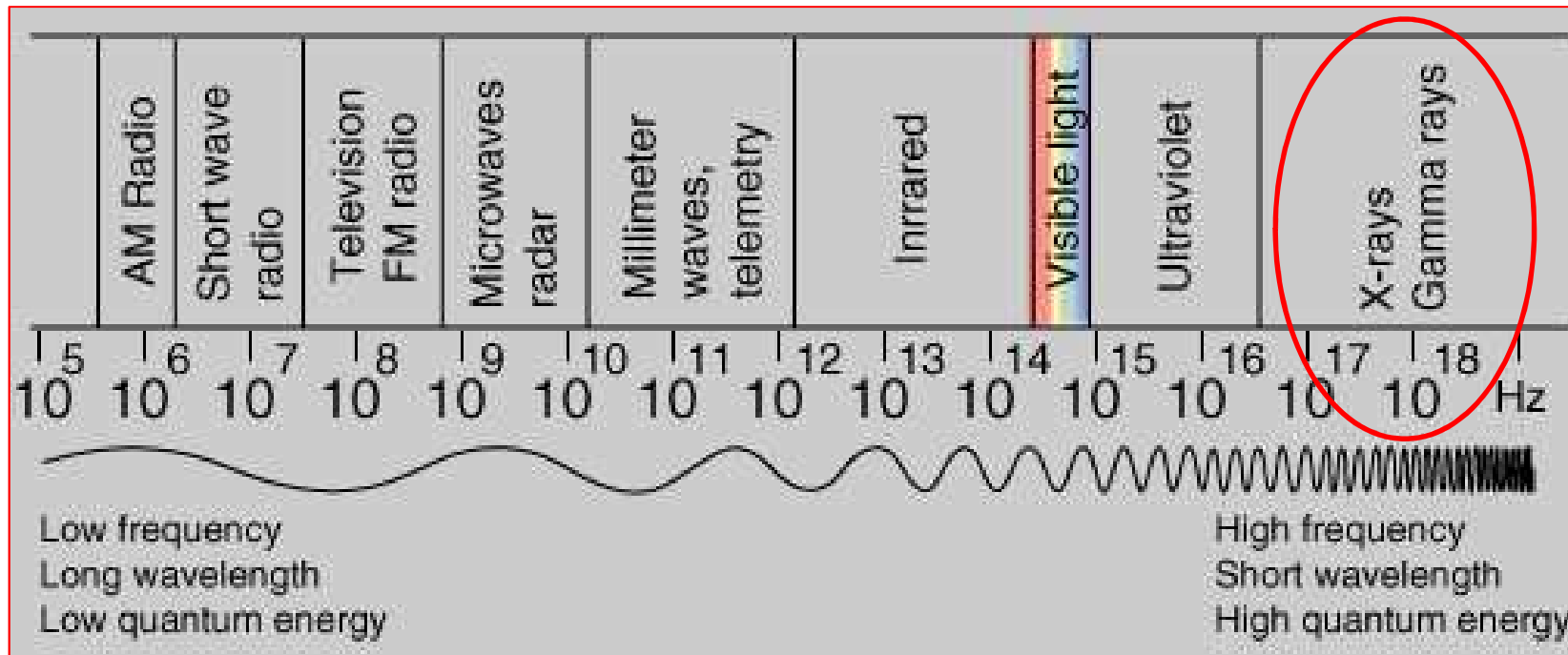


TREATED BY IRRADIATION  
FOR SHELF STABILITY

# Índice

- 1. Introducción**
- 2. Efectos Biológicos**
- 3. Radiación Ionizante en la Industria Agroalimentaria**
- 4. Efecto sobre los Alimentos**
- 5. Desinfestación y Cuarentena**
- 6. Plantas de Irradiación**
- 7. Dosimetría**

# Espectro de Radiación



# Irradiación de Alimentos

Pruebas científicas aseguran la salubridad del alimento irradiado

La irradiación produce cambios en el alimento: similares o inferiores a otros tratamientos

Comité de Expertos (FAO/OMS/IAEA): (100 alimentos)

*“...la irradiación de cualquier producto alimenticio a una dosis media general de 10 kGy no presenta ningún riesgo toxicológico; por consiguiente no es necesario realizar más pruebas toxicológicas sobre los alimentos así tratados”*

No presenta **toxicidad genética** (Renner *et al.*, 1982; Phillips *et al.*, 1980)

No se ha encontrado **actividad mutagénica** (Fruin *et al.*, 1980)

# Átomos Radiactivos

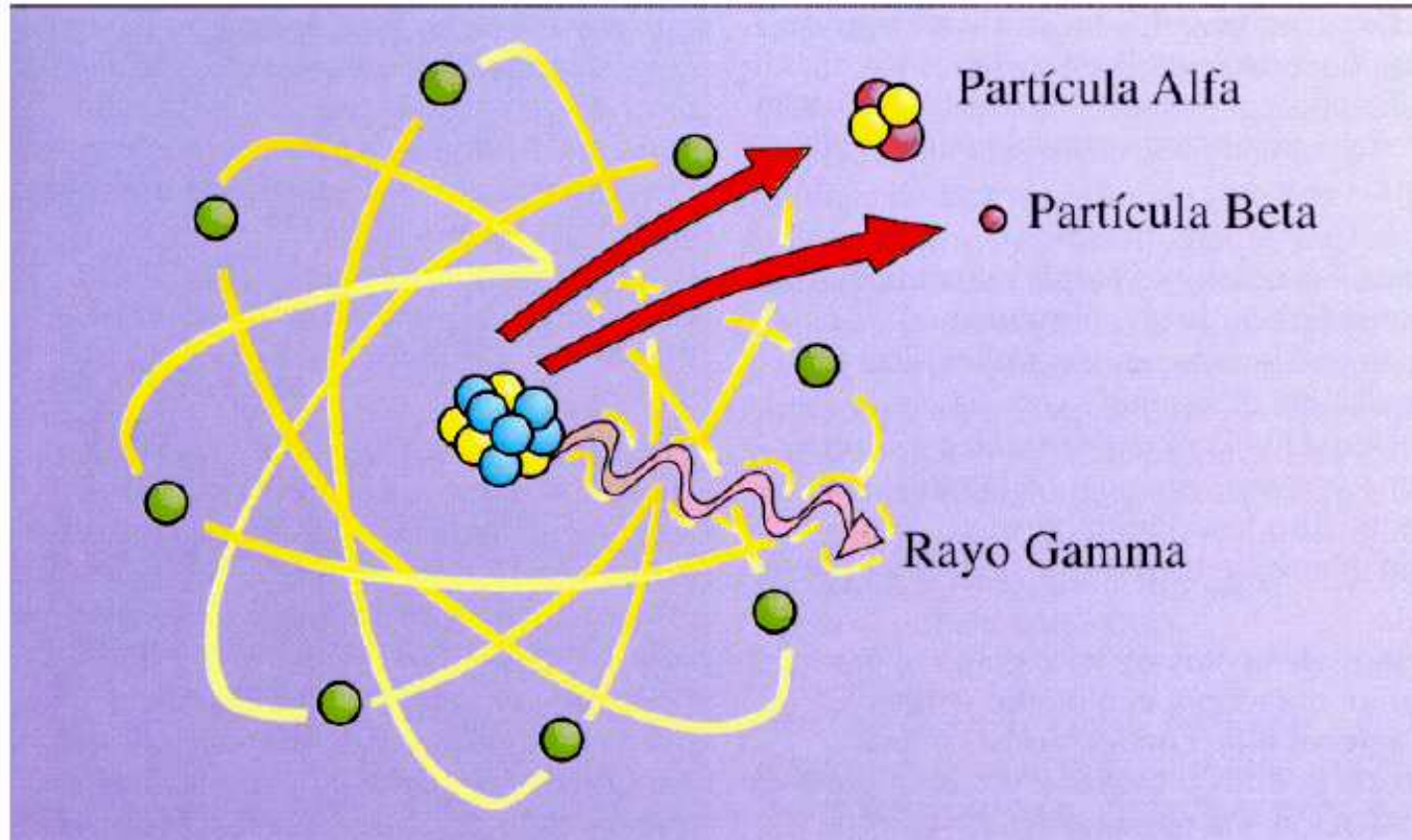


Figura 2.- Emisión de radiaciones ionizantes desde el núcleo atómico. (Sollet, 1997)

# Actividad Radiactiva

Velocidad con que se producen las transformaciones en una sustancia radiactiva

Mide el número de átomos que se desintegran en la unidad de tiempo

## Unidades:

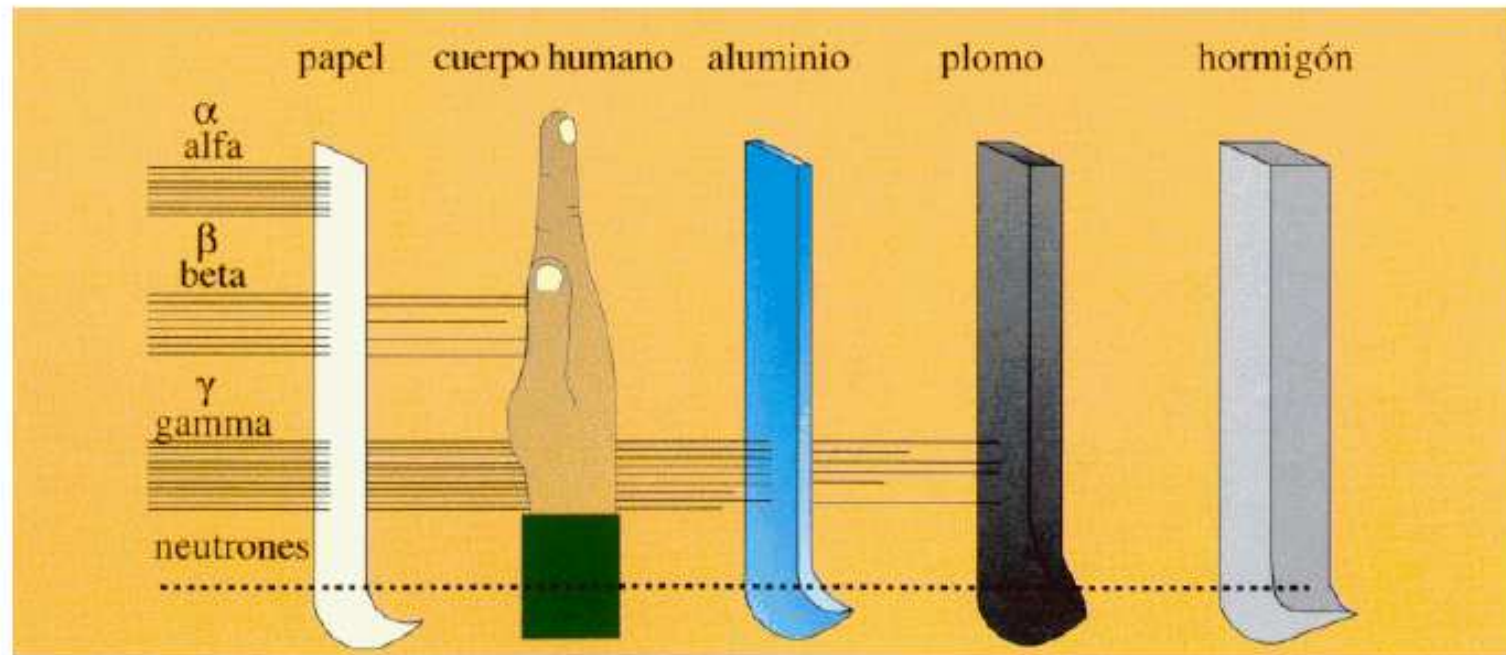
*Becquerel* (Bq) = 1 desintegración/segundo

*Curie* (Ci) = actividad 1 gramo de  $^{226}\text{Ra}$

**1 Ci =  $3,7 \times 10^{10}$  desintegraciones/s**



# Poder de Penetración



**Figura 5.-** Capacidad de penetración en la materia de los distintos tipos de radiación.  
(Sollet, 1997)

# Dosis Absorbida

$$D = \frac{E}{m}$$

**Gray** = Julio absorbido/kg

1 Gy = 1 J/kg

**rad** (“radiation absorbed dose”)

1 Gy = 100 rad

# Dosis Equivalente

Se tiene en cuenta el tipo de radiación

$$H = D \cdot F_R$$

**Sievert** = Julio absorbido/kg

1 Sv = 1 J/kg

**rem** (“Roentgen equivalent man”)

1 Sv = 100 rem

$F_R$	Tipo de radiación
1	Rayos X, $\beta$ , $\gamma$ , electrones y positrones
5	Protones
5 a 20	Neutrones
> 20	Radiación $\alpha$ , núcleos pesados

# Fuentes de Radiación Ionizante

## Naturales

Radiación cósmica

Radiación del subsuelo (uranio, torio,...)

Ingestión alimentos (radionucleidos,  $^{40}\text{K}$ ,...)

## Artificiales

Aplicaciones médicas

Actividad cotidiana (relojes luminosos, detectores de humo, soldaduras,...)

Centrales eléctricas (nucleares, carbón)

Armamento nuclear y accidentes

# Contenido Radiactivo

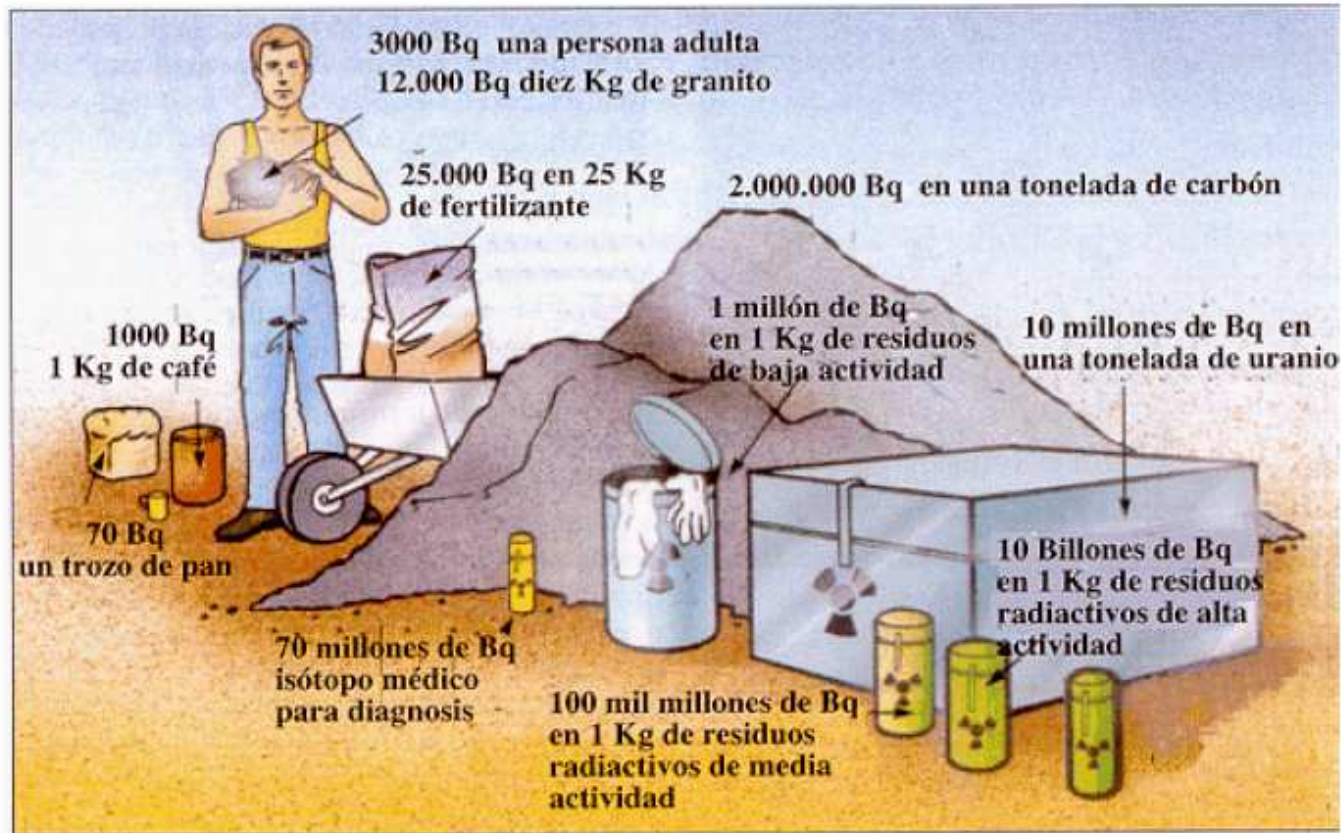
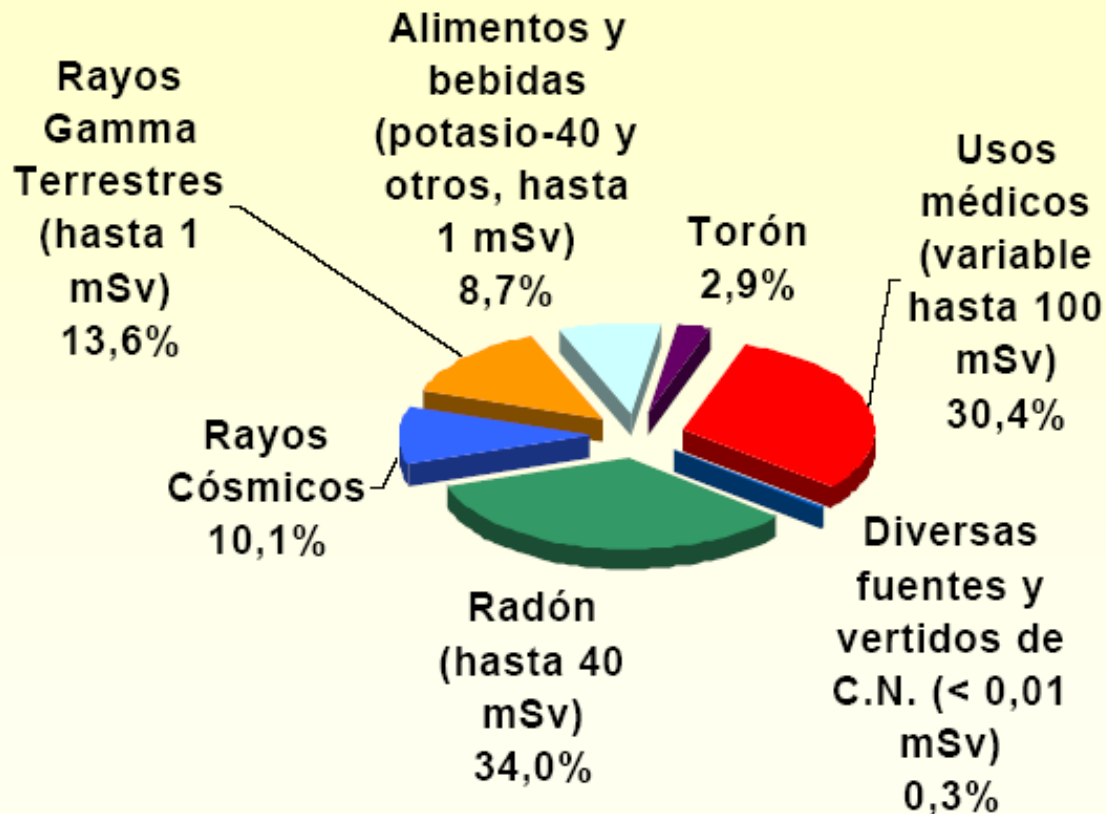


Figura 6.- Contenido radiactivo en Becquerel (o desintegraciones por segundo) de distintos materiales naturales y artificiales. (Sollet, 1997)

# Dosis Media Anual

## Dosis media anual en España (3,5 mSv)



# Efectos Biológicos

- ✓ Los efectos de la radiación ionizante depende de su interacción con la materia
- ✓ La absorción de la radiación por los organismos vivos es función del tipo y cantidad de la radiación, además de la estructura y tipo de materia absorbente
- ✓ La ionización inducida en los tejidos vivos por una determinada radiación se suele cuantificar por la denominada *transferencia lineal de energía* (TLE)

## Transferencia Lineal de Energía (TLE)

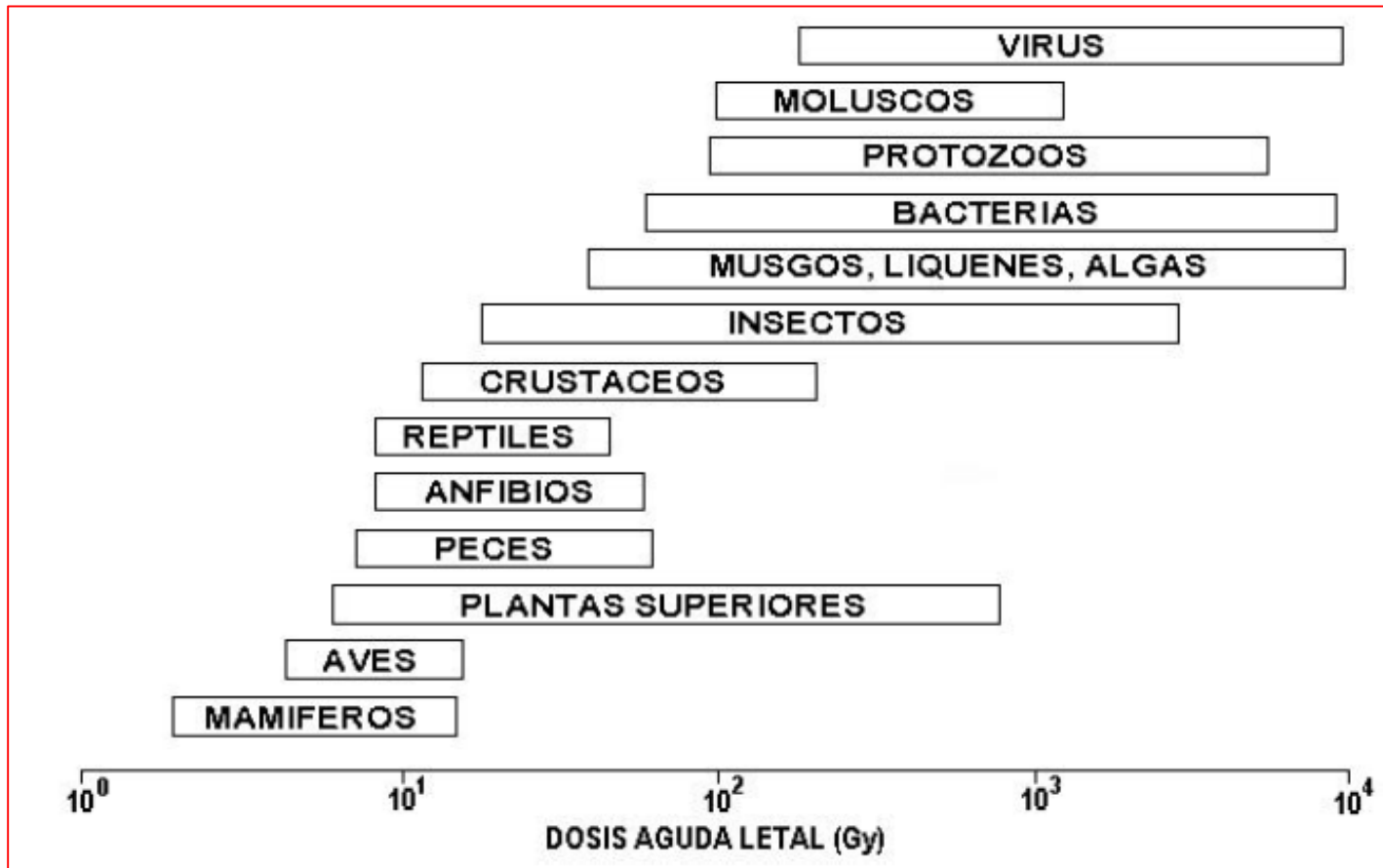
Es la cantidad de energía cedida por unidad de recorrido de la radiación en el tejido

**Alta TLE:**  $\alpha$  y neutrones

**Baja TLE:** rayos X y radiación  $\beta$  y  $\gamma$

# Efectos Biológicos

Tolerancia relativa de diferentes organismos a la radiación ionizante, en términos de dosis absorbida necesaria para causar la muerte del 50% de los individuos en un periodo de tiempo determinado (UNSCEAR, 1996).



## UNSCEAR

El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas

# Efectos Biológicos

## Interacción de la radiación con la célula

- ❖ Sobre el material genético
- ❖ Sobre macromoléculas
- ❖ Sobre el agua
- ❖ Las moléculas ionizadas interactúan con el material que las envuelve

- ✓ **Irradiación directa:** Formación de radicales libres
- ✓ **Irradiación indirecta:** Formación de sustancias radioinducidas



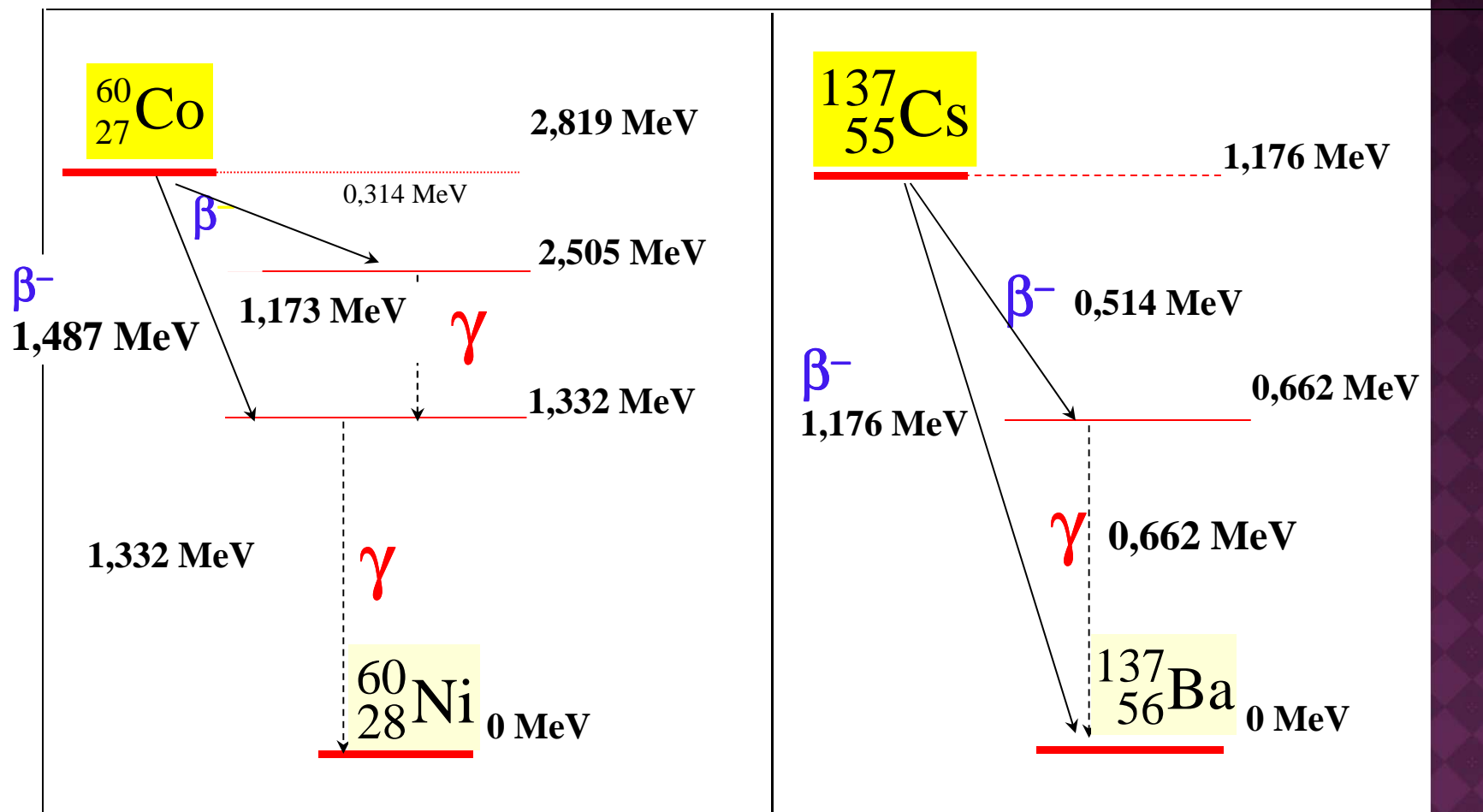
# Radiación Ionizante en la Industria Alimentaria

➤ Radiación  $\gamma$

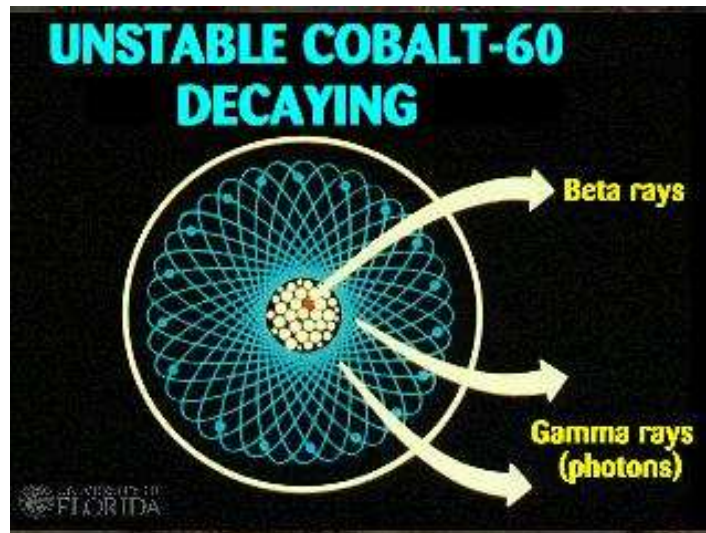
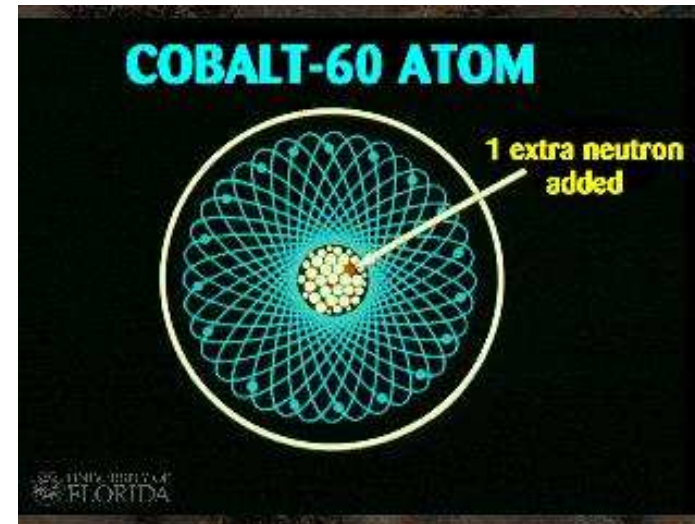
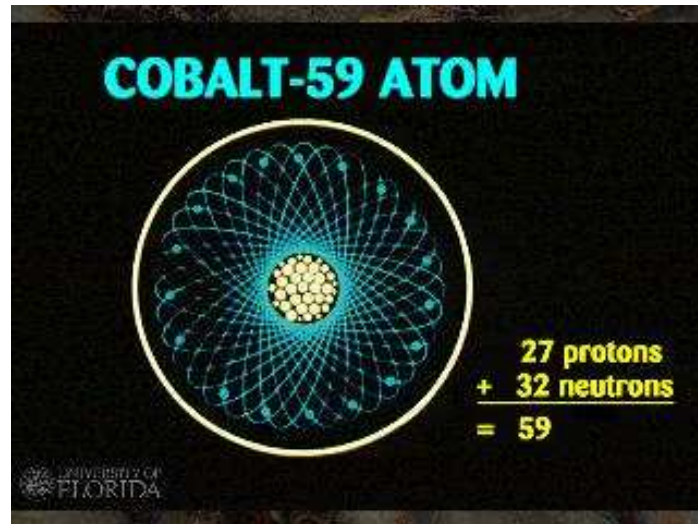


➤ Haz de electrones ( $\beta$ )

# Radiación $\gamma$



# Átomos de Cobalto



# Radiación $\gamma$

<b>Fuente</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<b>Rayos <math>\gamma</math></b>	<b>Alta penetración</b> <b>Fiabilidad de la fuente</b> <b>Facilidad automatización</b>	<b>Instalación radiactiva de primera categoría</b> <b>Transporte y almacenamiento de fuentes radiactivas</b> <b>Pérdida de la actividad de la fuente radiactiva</b> <b>Tasa de dosis determinada por la fuente</b> <b>Emisión permanente radiación</b> <b>Altos costos de funcionamiento y seguridad</b>

# Haz Electrones

<b>Fuente</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<b>Haz electrones</b>	<b>Fuente eléctrica que sólo funciona si se enciende</b>  <b>Posibilidad control unitaria</b>  <b>Alta tasa de dosis (varios kGy/s)</b>  <b>Ausencia impacto ambiental</b>  <b>Costos de funcionamiento bajos</b>	<b>Instalación radiactiva de 1ª categoría</b>  <b>Penetración limitada</b>  <b>Necesidad mucho personal de manipulación</b>  <b>Necesidad equipos automatizados</b>

# Dosis de Radiación en Alimentos

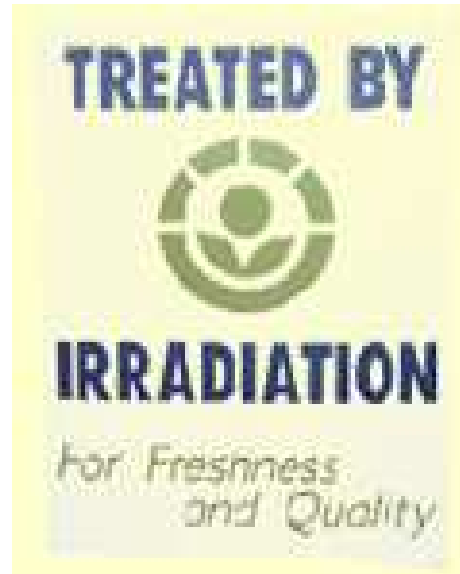
Dosis		D (kGy)	Aplicación
Baja	< 1 kGy	0,04 – 0,10	Inhibición de germinación de tubérculos y bulbos
		0,03 – 0,20	Esterilización de insectos, larvas y huevos
		0,50 – 1,00	Control de la maduración de frutas y hortalizas
Media	1 a 10 kGy	1 – 3	Muerte de insectos
		1 – 7	Eliminación de patógenos
		2 - 10	Pasteurización
Alta	10 a 50 kGy	15 – 50	Esterilización
		10 - 50	Descontaminación de aditivos y especias

# Cambios en Alimentos Irradiados

- ✓ **Sólo son posibles cambios químicos**
- ✓ **Cambios similares a tratamientos convencionales**
- ✓ **Proceso “frío”**
- ✓ **No existe cambio en la apariencia física**
- ✓ **Los compuestos radiolíticos formados son similares a los que se dan en los tratamientos convencionales**

# Etiquetado de Alimentos Irradiados

“Radura”



irradiation costs only a fraction of that of the product



# Irradiación de Alimentos

- Los efectos de la radiación sobre los alimentos dependen de los procesos radioinducidos, ya que se ven favorecidos por la presencia de oxígeno, por el aumento del pH, por el aumento de la temperatura y por el contenido en agua
- En los productos alimenticios secos y deshidratados, la irradiación directa resulta más efectiva, ya que la disponibilidad de agua es menor, y por tanto, la formación de radicales libres es menor

## Se recomienda:

- ✓ Irradiar a temperaturas de congelación
- ✓ Irradiar los alimentos envasados bajo vacío o en atmósfera modificada, en ausencia o con niveles muy bajos de oxígeno
- ✓ La irradiación de alimentos con un pH < 4,5 es más segura

# Irradiación de Alimentos

## Carnes

Irradiación a dosis de **10-50 kGy**

Eliminación de microorganismos patógenos

*Salmonella, Campylobacter, Listeria, Yersinia y Escherichia coli*

No son necesarios conservantes

## Pescados y Mariscos

Dosis para pescado fresco y marisco **0,75 a 1,5 kGy**

Dosis para pescado congelado **2 a 5 kGy**

Eliminación de microorganismos patógenos

*Clostridium perfringens, Clostridium botulinum, Vibrio parahemolyticus, Vibrio cholerae, y Aeromona hydrophila. Salmonella, Shigella y Staphylococcus aureus. Escherichia coli*

No provoca cambios sensoriales en el alimento

# Irradiación de Alimentos

## Huevos y ovoproductos

Irradiación a dosis de **2,5 kGy**

Microorganismo patógeno más problemático *Salmonella enteritidis*

Se conservan todas las propiedades del producto

## Frutas y Hortalizas

Dosis de radiación bajas: Mangos y plátanos **0,3 a 1 kGy**

Setas y espárragos **2 a 5 kGy**

Son productos con altos contenido en agua (80-95%)

Los espacios intercelulares contienen oxígeno

Dosis superiores a **3 kGy** pueden producir una maduración excesiva

# Irradiación de Alimentos



## Tubérculos y Bulbos

Irradiación a dosis:      Tubérculos    70 a 150 Gy  
   Bulbos            20 a 90 Gy

La radiación inhibe la germinación

(cambios en los niveles de las hormonas endógenas del crecimiento afectando el metabolismo de los ácidos nucleicos)

Se utilizan productos químicos (tóxicos, cancerígenos)

Hidrazida maleica, Clorprofam, Profam y Tecnaceno



# Espicias y Otros



- **Espicias, hierbas, condimentos, ingredientes alimentarios secos**
- **Confieren sabores y olores especiales a muchos platos cocinados**
- **Presentan altos niveles de contaminación (bacterias, hongos, levaduras)**
- **Fumigación (óxido de etileno, óxido de propileno)**
- **Irradiación como alternativa**
- **Dosis altas 5 a 10 kGy disminuye la población bacteriana desde 1% a 10/00**
- **Dosis 7,5 a 15 kGy no afectan las propiedades sensoriales de las especias**
- **Se suelen irradiar una vez envasados**

# Productos Lácteos

Queso	Fuente	Finalidad
Brinsen	$^{60}\text{Co}$	Aumento tiempo almacenamiento
Camembert	$^{60}\text{Co}$	Aumento del tiempo de vida útil Destrucción de <i>Listeria</i> y <i>Salmonela</i>
Cottage Camembert	$^{60}\text{Co}$	Destrucción población bacteriana
Cheddar	$\beta$	Descontaminación de la corteza
Fresco	$\beta$	Eliminación de <i>Listeria</i>
Gouda	$^{60}\text{Co}$	Cambios organolépticos
Kashar	$^{60}\text{Co}$	Aumento del tiempo de vida útil
Mozzarella	$^{60}\text{Co}$	Eliminación de <i>Listeria</i>
Ras	$^{60}\text{Co}$	Eliminación de bacterias

# Vinos y Licores

Producto	Fuente	Objetivo	Efecto
<b>Brandi patata</b>	$\gamma$	Mejorar la calidad organoléptica. Reducción patógenos	Desaparición de sabor amargo Mejora del sabor
<b>Cerveza</b>	$\gamma$	Reducción carga microbiana	Aparición de color oscuro Sabor desagradable
<b>Vino</b>	$\gamma < 0,8 \text{ kG}$ $y$	Evita desarrollo de bacterias y virus en vinos embotellados	Posibles variaciones organolépticas
<b>Vino Madeira, Rakia</b>	$\gamma$	Aceleración proceso envejecimiento	Mejora características organolépticas

# Vinos y Licores

Producto	Fuente	Objetivo	Efecto
<b>Vino Rumanía</b>	$\gamma < 0,6 \text{ kGy}$	Elimina microorganismos Variación propiedades organolépticas	Decoloración Descenso pigmentos y taninos Descenso del contenido de SO <sub>2</sub> y permanganato
<b>Vino (arroz)</b>	$\gamma 2,4 \text{ kGy}$	Aumento vida media	No se detectan cambios organolépticos
<b>Uva y pulpa</b>	$\gamma$	Esterilización	Desarrollo favorable características organolépticas Irradiación de pulpa produce vinos de baja calidad
<b>Corcho</b>	$\gamma$ $\beta$	Reducción carga microbiana Detiene el picado	Evita la formación de sabores desagradables



# Desinfestación



- **Erradicación de plagas de insectos para protección de cosechas (cereales, semillas, legumbres, frutas deshidratadas, frutos secos)**
- **Pérdidas de 5 a 15% en el almacenamiento**
- **Utilización de fumigantes (bromuro de metilo)**
- **Técnica de Insectos Estériles (TIE):**
  - ✓ **Liberación de grandes cantidades de insectos estériles**
  - ✓ **Selección y esterilización de machos**
  - ✓ **Esterilidad heredada**

# Desinfestación



**Mosca del gusano barrenador del nuevo mundo**

**Esterilización con rayos  $\gamma$  a 70 -200 Gy**

**Mosca mediterránea de la fruta**

**Coleópteros (escarabajo)**

**Sensibles a la radiación**

**Dosis de esterilización 50 Gy**

**Lepidópteros (polilla)**

**Grupo más resistente a la radiación**

**Dosis de esterilización 1 kGy**

**Se matan con dosis de 3 a 5 kGy**

# Desinfestación



- **Cualquier producto tratado con 10 kGy no presenta peligros toxicológicos**
- **La Comisión del Código Alimentario (1983) recomienda que en la desinfestación de granos de cacao, dátiles, legumbres, arroz, trigo y derivados no se sobrepase la dosis de 1 kGy**
- **A las dosis de tratamiento, las semillas y cereales no pueden germinar**

# Cuarentena

- En las importaciones y exportaciones de productos existe el peligro de introducir especies no autóctonas
- Necesidad de tener el producto en cuarentena
- También existe peligro de contaminación debido a cargas microbianas elevadas
- Tratamiento usual del producto con **dibromuro de etileno**
- Con radiación ionizante no es necesaria la cuarentena

# Plantas de Irradiación

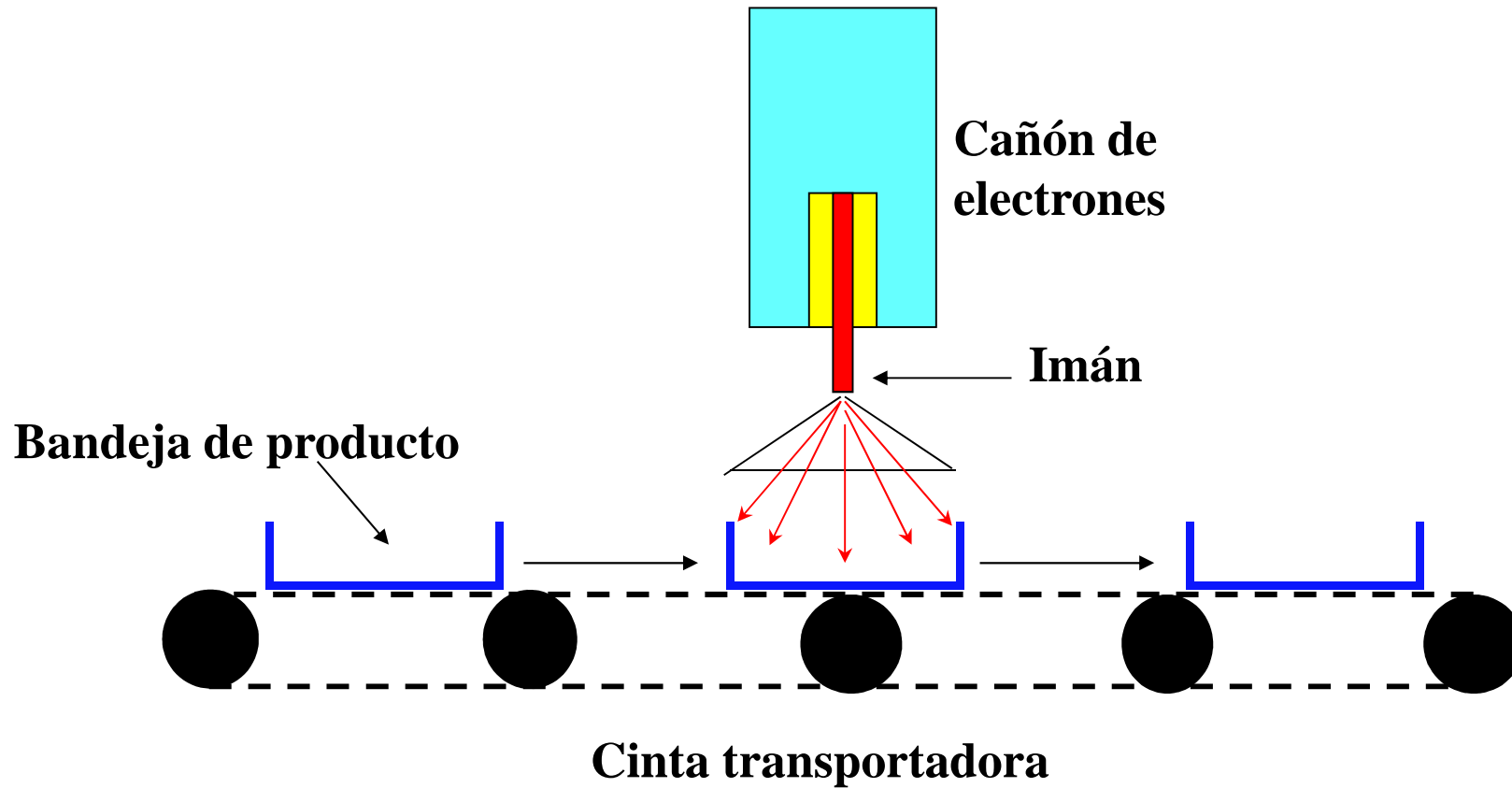
- **Zona de almacenamiento materia prima**
- **Zona de carga**
- **Cinta transportadora**
- **Zona de irradiación**
- **Cámara circuito refrigeración (haz electrones)**
- **Zona de descarga**
- **Zona de almacenamiento producto tratado**
- **Laboratorio de control**

# Plantas de Irradiación

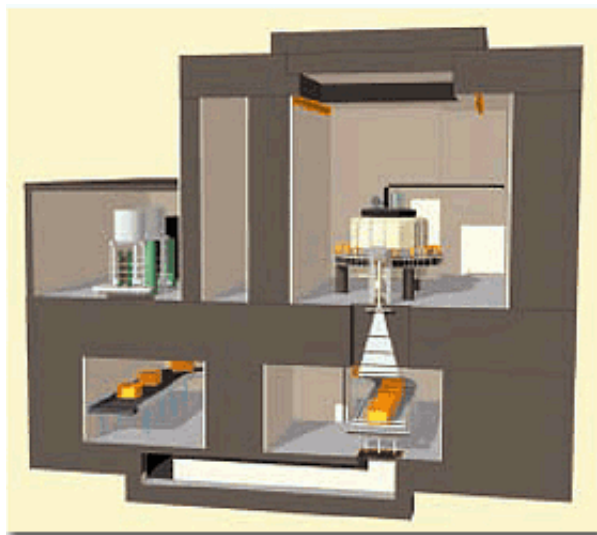
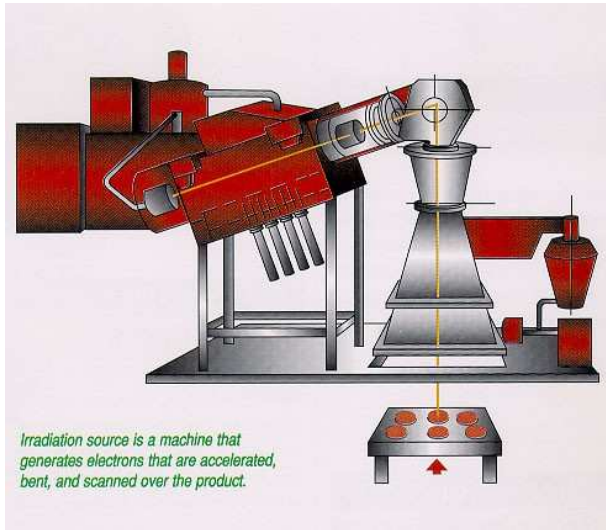
## Zona de irradiación

- Zona de tratamiento
- Envuelta de pared de hormigón (2 m)
- Fuente de radiación
- Piscina de agua (se guarda la fuente rayos  $\gamma$ )
- Recorrido producto debe asegurar una dosis adecuada
- Posibilidad de volteo en productos de grandes dimensiones

# Planta Irradiación Haz Electrones

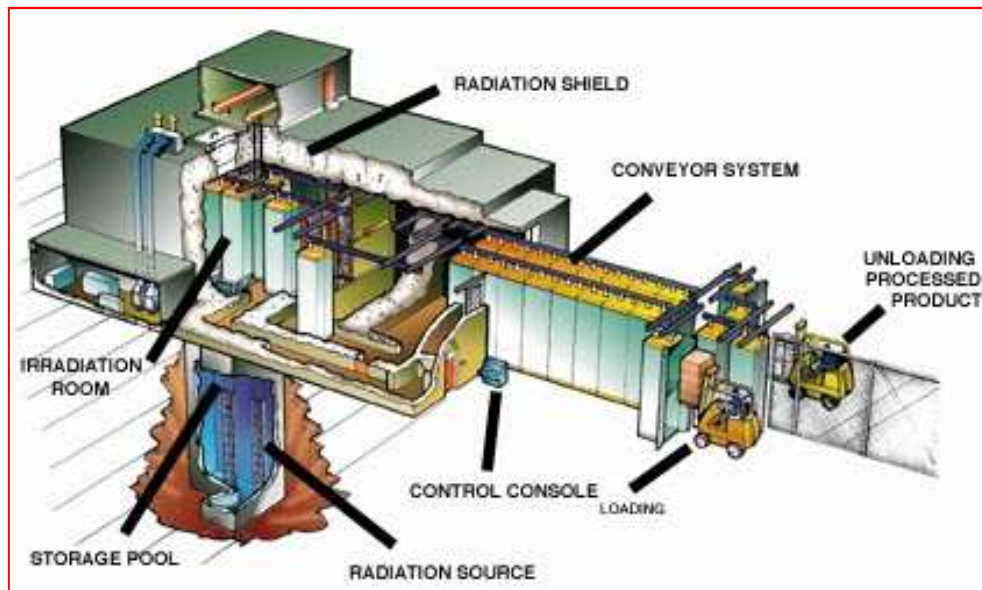
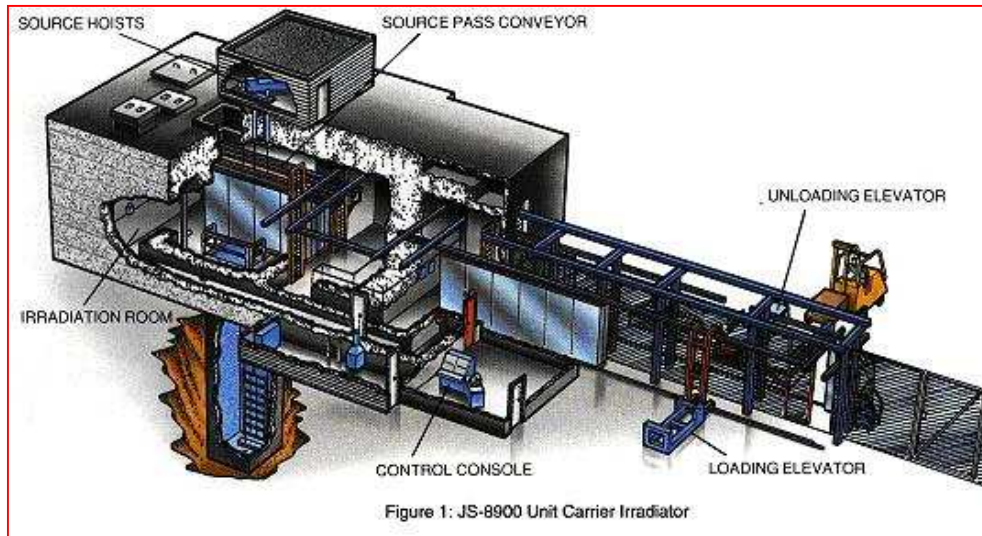


# Planta Irradiación Haz Electrones





# Plantas Irradiación $\gamma$



# Dosimetría

- **Medición de las dosis recibidas por el alimento**
- **Cambios ópticos en soluciones o materiales sólidos alanina, aminoácidos, triacetato de celulosa, colorantes, sulfato ferroso, dicromato K/Ag, ...**

**Dosímetro: Dispositivo que muestra el efecto de la radiación, con un lector**

**Colorante radiométrico (0,1 a 50 kGy)**

**Descomposición de plásticos (5 a 50 kGy)**



**Muchas Gracias !!!**

**[aibarz@tecal.udl.cat](mailto:aibarz@tecal.udl.cat)**