



7° Curso de Actualización en Protección Radiológica para Médicos Radioterapeutas



“Protección ocupacional y del público en radioterapia (definición de público en RT). Seguridad física de fuentes. Nuevas tendencias”

Graciela R. Vélez

23, 24 y 25 de Octubre de 2019

AMA - Av. Santa Fe 1171 - Capital Federal

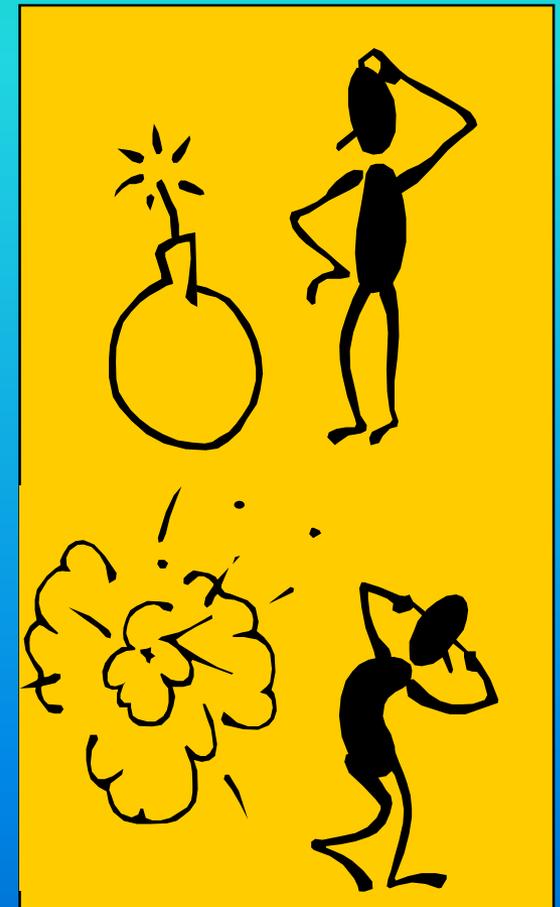
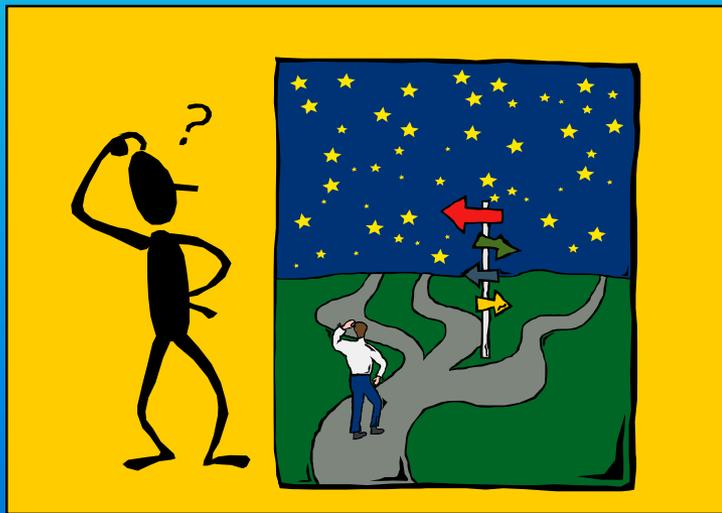


Conceptos y objetivos de la protección radiológica

- **La Protección Radiológica (PR)** es una herramienta de gestión de medidas para la protección de la salud frente a los riesgos (para las personas y el medio ambiente) generados por el uso de la radiación ionizante
- **Detrimento:** Daño total que podría eventualmente ser experimentado por un grupo expuesto y sus descendientes como resultado de la exposición del grupo a la radiación procedente de una fuente
- Siempre se consideran **BENEFICIOS frente a RIESGOS**

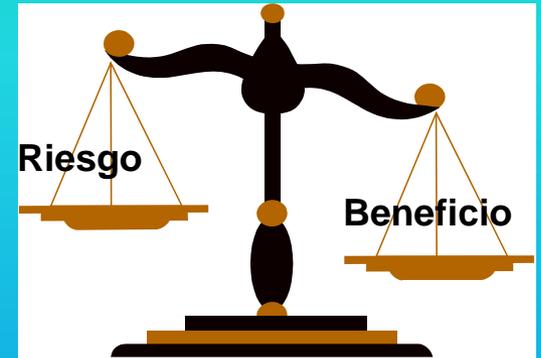
Efectos biológicos de la radiación ionizante: objetivos de la protección radiológica

- **Efectos deterministas**
 - La PR intenta EVITARLOS
- **Efectos estocásticos**
 - La PR intenta REDUCIRLOS

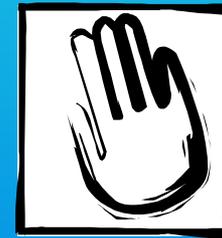


Sistema de protección radiológica

- Justificación de las prácticas



- Limitación de las dosis

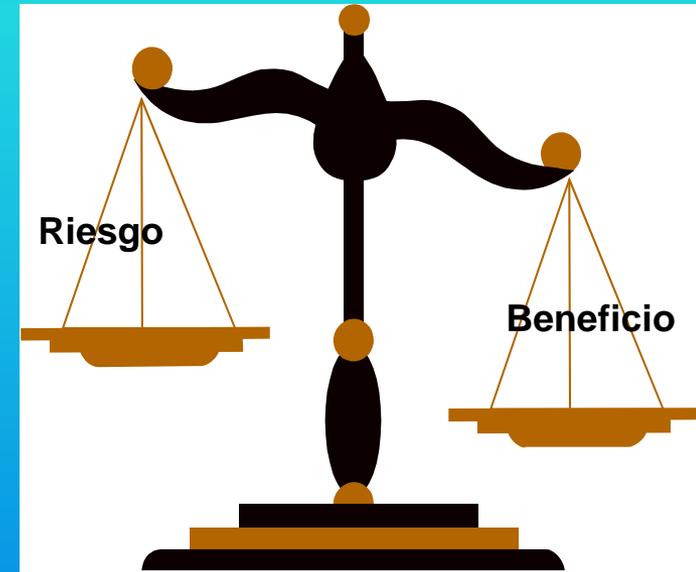


- Optimización de la protección



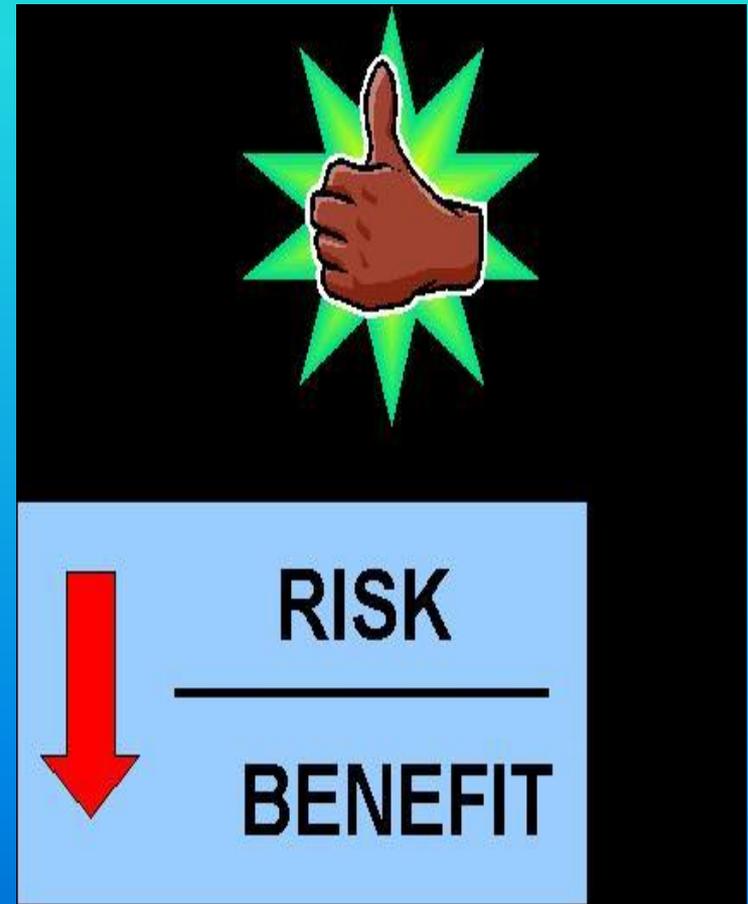
Justificación de una práctica

- Una práctica está justificada cuando la exposición produce suficiente beneficio como para compensar el daño por la radiación que la exposición pudiera causar.
- Entonces, una exposición sin beneficio *no está justificada*.



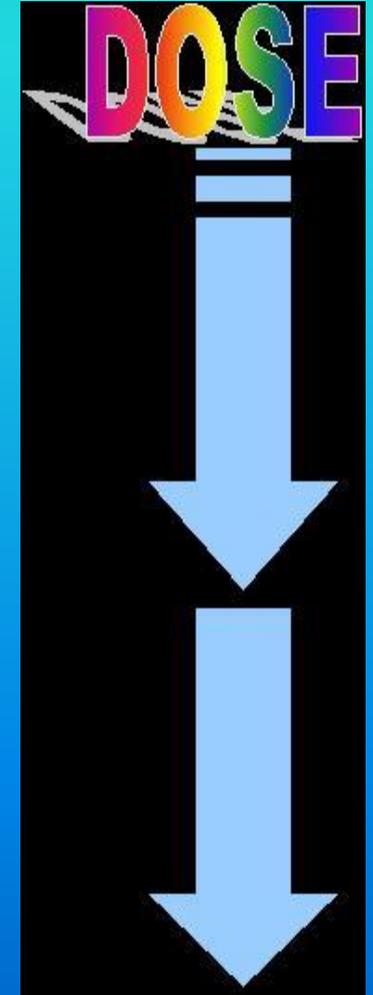
Optimización de la protección

- La optimización incluye el criterio: las dosis deben ser “**tan bajas como razonablemente sea alcanzable**”, teniendo en cuenta factores económicos y sociales”
- Optimizar significa conseguir el mínimo riesgo y el máximo beneficio, teniendo en cuenta factores económicos y sociales



Tan bajo como sea razonablemente alcanzable

- Se asume que incluso dosis muy pequeñas de radiación ionizante pueden ser potencialmente carcinogénicas (hipótesis de umbral lineal)
- Se refiere a la aplicación continua del principio de optimización en la práctica día a día.



Las Recomendaciones de ICRP

- ICRP publicación 60 - 1990
- El sistema recomendado para la protección radiológica se basa en tres principios:
 - Los beneficios de una práctica han de compensar el detrimento por las radiaciones
 - La exposición, y la probabilidad de tal exposición, ha de ser mantenida tan bajo como sea razonablemente alcanzable; habiendo tenido en consideración factores tanto económicos como sociales
 - Se han de establecer límites de dosis para asegurar que ninguna persona esté sometida a un riesgo inaceptable en circunstancias normales

“ICRP 60” (1990)

- Pondera todos los datos existentes, para llegar a recomendaciones cuantitativas para los factores de ponderación de riesgo, detrimento, dosis y tasa de dosis
- Considera solo la exposición referente a seres humanos
- Considera la exposición en tres categorías: ocupacional, medica, y pública

OIEA: NBS (1996) - glosario

- **Exposición ocupacional**
 - “Toda **exposición de los trabajadores sufrida durante el trabajo**, con excepción de las exposiciones excluidas del ámbito de las Normas y de las exposiciones causadas por las prácticas o fuentes exentas con arreglo a las Normas.”

OIEA: NBS (1996) - glosario

- **Exposición médica**

- “Exposición sufrida por los pacientes en el curso de su propio diagnóstico o tratamiento médico o dental;
- exposición sufrida de forma consciente por personas que no estén expuestas profesionalmente mientras ayudan voluntariamente a procurar alivio y bienestar a pacientes; asimismo, la sufrida por voluntarios en el curso de un programa de investigación biomédica que implique su exposición.”

OIEA: NBS (1996) - glosario

- **Exposición del público**
 - “Exposición sufrida por miembros del público a causa de fuentes de radiación, excluidas cualquier exposición ocupacional o médica y la exposición a la radiación natural de fondo normal en la zona, pero incluida la exposición debida a las fuentes y prácticas autorizadas y a las situaciones de intervención.”

Justificación

Optimización

¿Qué implican cada uno de estos tres principios?

Limitación de dosis

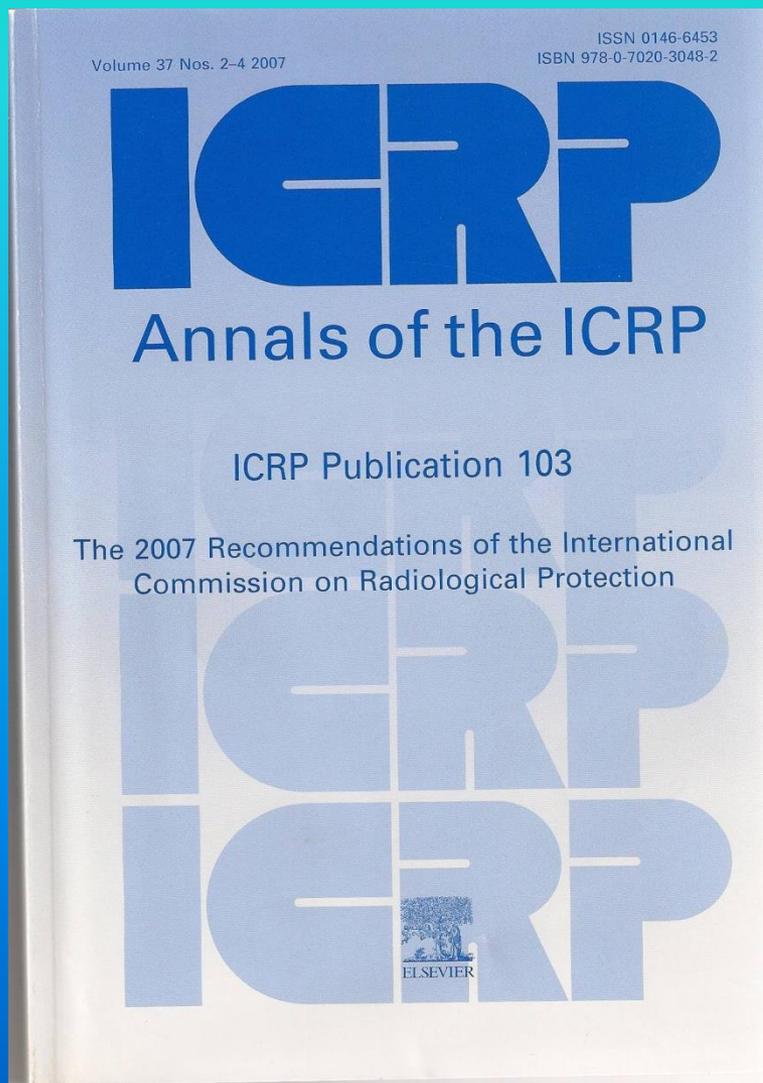
Justificación

- Si no habrá beneficio; no se justifica, en lo absoluto, el empleo de las radiaciones ionizantes
- Todas las aplicaciones han de estar justificadas
- Esto implica que: Todas, incluso las exposiciones más pequeñas son potencialmente dañinas y el riesgo ha de ser compensado por los beneficios

Análisis riesgo / Beneficio

- Necesidad de evaluar los beneficios de las radiaciones – tarea fácil en el caso de la radioterapia
- Las radiaciones constituyen el agente terapéutico
- La evaluación de los riesgos requiere el conocimiento de las dosis recibidas por las personas

En 2007 se publica el ICRP 103



Sumario Ejecutivo

- El 21 de Marzo de 2007, el Comité Principal de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) aprueba estas Recomendaciones corregidas para un Sistema de Protección Radiológica,
- El cual reemplaza formalmente las previas Recomendaciones publicadas en 1991 como ICRP *Publicación 60* y actualiza las indicaciones en el control de exposición por fuentes radioactivas notificadas desde la Publicación 60.
- Estas Recomendaciones corregidas consolidan y desarrollan las Recomendaciones y Guías previas.

Principios generales de la ICRP 103 (1)

- Actualizando los factores de ponderación de radiación (REB) y tejidos (Tissue weighting factors) en cantidades equivalentes y dosis efectiva,
- Actualizando el daño por radiación basado en la información científica mas actualizada, sobre la biología y física de las exposiciones a radiaciones.

Principios generales de la ICRP 103 (2)

- Manteniendo los tres principios fundamentales de la comisión de protección radiológica, llamados: **justificación, optimización y aplicación de dosis límite,**
- esclareciendo como se puede aplicar a las fuentes radiactivas y a los individuos recibiendo una irradiación.

Principios generales de la ICRP 103 (3)

- **Manteniendo las dosis límites individuales de la ICRP** (para dosis efectiva y dosis equivalente), para todas las fuentes reguladas en situaciones de exposición planificada
- estos límites representan la dosis máxima que debería ser aceptada, en una situación de exposición planificada, por entidades regulatorias.

Principios generales de la ICRP 103 (4)

- **Reforzar el principio de optimización** de protección, el cual debe ser aplicable de manera similar a todas las situaciones de exposiciones.

Principios generales de la ICRP 103 (5)

- Desarrollar una estructura para trabajar sobre la protección radiológica del medio ambiente.

Dosis efectiva y ponderación de factores tisulares

- *“La dosis efectiva, E, introducida en Publicación 60 (ICRP,1992b) es definida por una ponderación de dosis tisular equivalente.”*

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

- *“Donde w_T es el factor de ponderación para tejido T , y $\sum w_T=1$. La suma es realizada sobre todos los órganos y tejidos del cuerpo humano considerado como sensitivo a la inducción de los efectos estocásticos.*
- *Esos valores w_T son elegidos para representar la contribución de los órganos individuales y tejidos a todo el daño causado por los efectos estocásticos.”*

- *“La unidad de dosis efectiva es $J\ kg^{-1}$ con especial nombre Sievert (Sv). La unidad es la misma para dosis equivalente y efectiva, así como para cantidades de dosis operacionales.”
(!!)*
- *“Debe tenerse cuidado para asegurar que la cantidad utilizada es claramente indicada.”*

Categorías de Exposición

- *“La comisión distingue entre tres categorías de exposición: exposición **ocupacional**, exposición **publica** y exposición **médica** del paciente. Exposiciones de acompañantes, y exposición de voluntarios en investigación, son discutidos en el capítulo 7.”*

- **Exposición médica de pacientes**
 - La cantidad relevante para planificar la exposición de pacientes y el cálculo del riesgo-beneficio, es la dosis equivalente o **la dosis absorbida de los tejidos irradiados**.
 - El uso de dosis efectiva para definir la exposición de pacientes tiene limitaciones severas que deben ser consideradas cuando se cuantifica la exposición medica.

- La dosis efectiva puede ser de valor *para comparar dosis de diferentes procedimientos diagnósticos y para comparar el uso de tecnologías similares y procedimientos en diferentes hospitales y países, así también como el uso de diferentes tecnologías para los mismos exámenes médicos.*
- Sin embargo, para planificar la exposición de pacientes y calcular el riesgo-beneficio, la dosis equivalente o **la dosis absorbida al tejido irradiado es la cantidad relevante.**

- El cálculo e interpretación de dosis efectiva (*“effective dose”*) de exposición médica del paciente es *muy problemática* cuando los órganos y tejidos reciben solo *exposición parcial o una exposición muy heterogénea*, la cual es el caso específicamente de el diagnóstico con rayos X.

- (A 86) Formulando recomendaciones para proteger humanos contra los efectos tumorigénicos de la radiación, la Comisión ha requerido considerar muchas informaciones y conceptos biológicos; muchos de estos son temas de debates en curso, y en algunos casos, de contención.

- Esto es, sin embargo, un acuerdo general que métodos epidemiológicos utilizados para la estimación del riesgo de cáncer, *no tienen la potencia para revelar el riesgo de cáncer en el rango de dosis de alrededor de 100mSv.*

- Como consecuencia hay un rol creciente para los datos biológicos en el desarrollo de las Recomendaciones ICRP
- y, donde hay incertidumbre y/o desacuerdo, se necesita arribar a un balance científico basado en el juicio sobre información publicada.

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN RADIOTERAPIA

Exposición Ocupacional

Exposición Ocupacional

(Fundamentals, IAEA Safety Series No. 120, 1996)

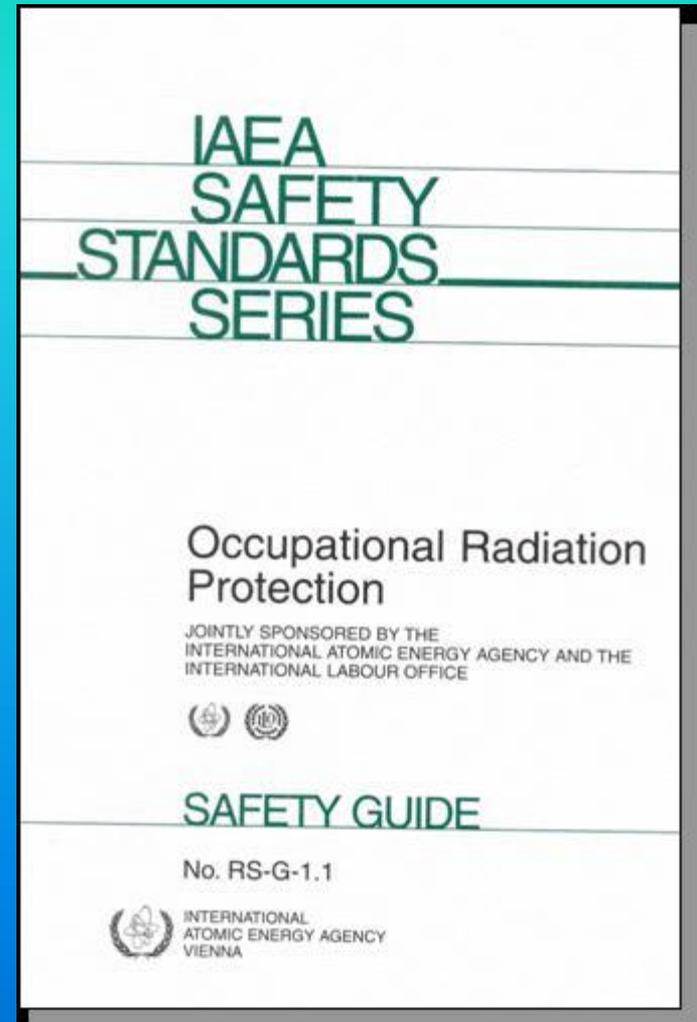
“Toda exposición de los trabajadores sufrida durante el trabajo” (en las NBS se listan ciertas excepciones)

Generalidades

- La radioterapia constituye un enfoque multidisciplinario que involucra una variedad de personal de diversas formaciones profesionales
- Fuentes de radiaciones, capaces de generar intensos campos de radiaciones, pueden ser manipuladas y trasladadas en el ámbito de un departamento de radioterapia
- Está establecido que los empleadores han de garantizar condiciones de trabajo seguras al personal
- La limitación de dosis y la necesidad de optimización aplican

Guías del OIEA

Existen múltiples publicaciones - a veces también resulta provechoso consultar la extensa literatura sobre salud y seguridad ocupacional, por ej. de la Organización Internacional del Trabajo (OIT)

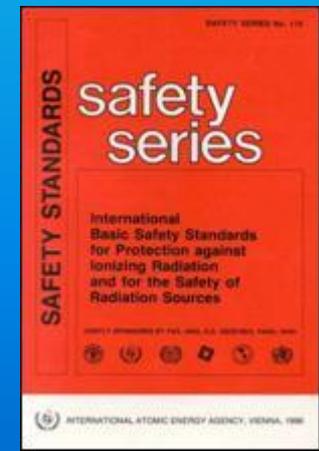


Responsabilidades respecto a la exposición ocupacional

NBS Apéndice I.1.

“Los titulares registrados y los titulares licenciados, así como los empleadores de los trabajadores dedicados a actividades que impliquen exposiciones normales o exposición potencial, deberán ser responsables de:

- la protección de los trabajadores contra la exposición ocupacional; y
- el cumplimiento de todos los demás requisitos aplicables de las Normas.”



Para cumplir los objetivos hay que:

- Conocer sobre la diversidad de profesionales involucrados en la radioterapia
- Conocer sobre las diferentes secuencias de sucesos que pueden conducir a la exposición del personal
- Comprender los mecanismos para evitar o reducir la exposición del personal
- Familiarizarse con los requisitos legales para empleadores y empleados

Esto es:

1. Ocupaciones involucradas en la radioterapia
2. Dónde puede ocurrir la exposición ocupacional
3. Reglas y supervisión locales
4. Medidas, equipos y medios de protección
5. Monitoreo
6. Investigación y seguimiento

1. Ocupaciones involucradas en la radioterapia

- Oncólogo radioterapeuta (radioncólogos)
- Otros clínicos
- Tecnólogos de radioterapia (radioterapista)
- Personal de planificación del tratamiento/dosimetristas
- Físicos médicos
- Ingenieros, técnicos, personal de mantenimiento
- Personal de enfermería
- Otros (dietistas, asistentes sociales,...)
- Personal de servicio (limpieza, porteros,...)



Exposición ocupacional

- Las profesiones involucradas en el proceso de radioterapia pueden variar según las peculiaridades de los departamentos
- El tipo y magnitud de la exposición ocupacional depende de la profesión
- En la radioterapia el riesgo no es tanto la exposición como parte normal e inevitable del oficio (tal como en medicina nuclear) sino la exposición *potencial* a dosis muy elevadas debido a accidentes.

Niveles de exposición típicos del personal en radioterapia oncológica

- Australia: Más del 99% del personal que incurre en exposición ocupacional $<1\text{mSv}$
- Excepciones: los físicos que preparan las fuentes de braquiterapia y el personal de enfermería de las salas dedicadas a braquiterapia donde se practica la carga diferida manual.



Niveles de exposición típicos del personal en radioterapia

Excepciones: los físicos que preparan las fuentes de braquiterapia y el personal de enfermería de las salas dedicadas a braquiterapia donde se practica la carga diferida manual.

Estas incidencias se harán menos frecuentes con la introducción de las técnicas de braquiterapia HDR y de carga diferida manual.

Personal ocupacionalmente expuesto

- Personal que puede ser expuesto a las radiaciones ionizantes como un resultado directo de su profesión
- Por lo general es instruido en seguridad radiológica
- Por lo general esta sometido a vigilancia radiológica
- Otros restricciones de dosis resultan aplicables (véase NBS sección 2.26)

... pero tener en cuenta

NBS Apéndice I.5.: “Los empleadores, los titulares registrados o los titulares licenciados deberán velar por que los trabajadores expuestos a radiación de fuentes que no sean naturales **ni guarden relación directa con su trabajo, o que no sean necesarias para el trabajo,** reciban el mismo nivel de protección que si fueran **miembros del público.”**

Otro personal potencialmente expuesto debido a la radioterapia

Personal de servicios, personal técnico (ej. electricistas, plomeros), profesionales vinculados a la salud, otros clínicos, enfermeras



¡Requieren entrenamiento y, potencialmente, vigilancia radiológica personal !!!



Oficial de Protección Radiológica (RPO)

- Para cada departamento de radioterapia ha de ser designado por el correspondiente titular
- Es el primer asunto que se debe determinar respecto a todo el personal involucrado en materia de seguridad radiológica
- Proporciona instrucción y entrenamiento
- Determina si se necesita vigilancia radiológica
- Ha de tener la calificación apropiada

Aspectos prácticos

- El RPO ha de garantizar que todo el personal que potencialmente puede ser expuesto, sea instruido sobre los riesgos
- Algunas sugerencias para la instrucción:
Conferencias, videos, visitas a sitios, demostraciones prácticas,...
- Debe formar parte de la instrucción inicial del personal nuevo, y posteriormente impartida al menos con periodicidad anual



Aspectos prácticos 2

- NBS Apéndice I.34.: “Cuando un trabajador realice habitualmente su actividad profesional en una zona supervisada, o entre solo ocasionalmente en una zona controlada, no deberá ser necesaria su vigilancia radiológica individual, **pero deberá evaluarse su exposición ocupacional**. Esta evaluación deberá basarse en los resultados de la vigilancia radiológica del puesto de trabajo o bien en la vigilancia radiológica individual.”

Aspectos prácticos 2 (cont.)

- Para el personal que normalmente no es empleado de una zona controlada, pero puede estar eventualmente en riesgo, el método de vigilancia radiológica depende de la magnitud de la probable exposición (véase NBS I.33)
- ej. dosímetro de bolsillo

De no existir un registro permanente, asegurar que se registre cada lectura



Límites de Dosis (Adenda II, NBS)

Exposición ocupacional:

- 20mSv/año como promedio en 5 años
- 50mSv en cualquier año
- dosis equivalente al cristalino de 150mSv en un año (*en revisión*)
- dosis equivalente a las extremidades (manos y pies) de 500mSv en un año

Límites de Dosis (Adenda II, NBS)

- Exposición ocupacional:
 - 20mSv/año como promedio en 5 años
 - 50mSv en cualquier año
 - dosis equivalente al cristalino de 150mSv en un año
 - dosis equivalente a 100mSv en los miembros superiores (manos y pies)

Recuerde: La necesidad de optimización se mantiene

2. ¿Dónde puede ocurrir la exposición ocupacional?

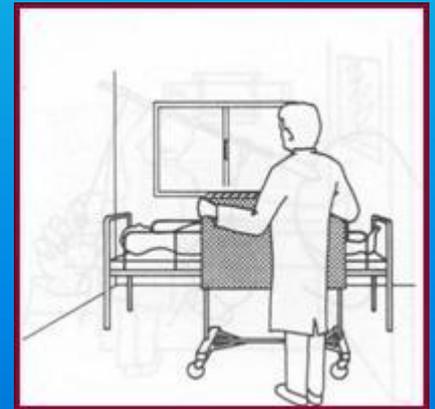
- Como parte de la operación normal
- Fallos de los equipos – (QA)
- Error del operador – (QA)
- Deficiencias de diseño (se discuten en documentos sobre diseño – IEC - y blindaje de las instalaciones - SS)

NBS Glosario: Exposición Normal

- “Exposición que se prevé se recibirá en las condiciones normales de funcionamiento de una instalación o una fuente, incluso en el caso de pequeños percances posibles que pueden mantenerse bajo control .”

La exposición como aspecto normal de la operación (NBS: “Exposición Normal”)

- No es común en radioterapia (a diferencia de medicina nuclear)
- Asociada solo al empleo de sustancias radiactivas
 - Fondo en el local de tratamiento en teleterapia con Co-60
 - Preparación de fuentes para braquiterapia
 - La atención a los pacientes con implantes



Exposición potencial

- NBS 1997 glosario: “Exposición que no se prevé se produzca con seguridad, pero que puede ser resultado de un accidente ocurrido en una fuente o deberse a un suceso o una serie de sucesos de carácter probabilista, por ejemplo a fallos de equipo y errores de operación.”

Exposición potencial

- En principio es evitable
- Necesite ser considerada y su riesgo minimizado
 - Prevención
 - Instrucción
 - Equipos de protección
 - Mitigación de los efectos



En general, el manejo de la exposición ocupacional se puede realizar de forma más eficaz mediante la clasificación de zonas (NBS I.21-25)

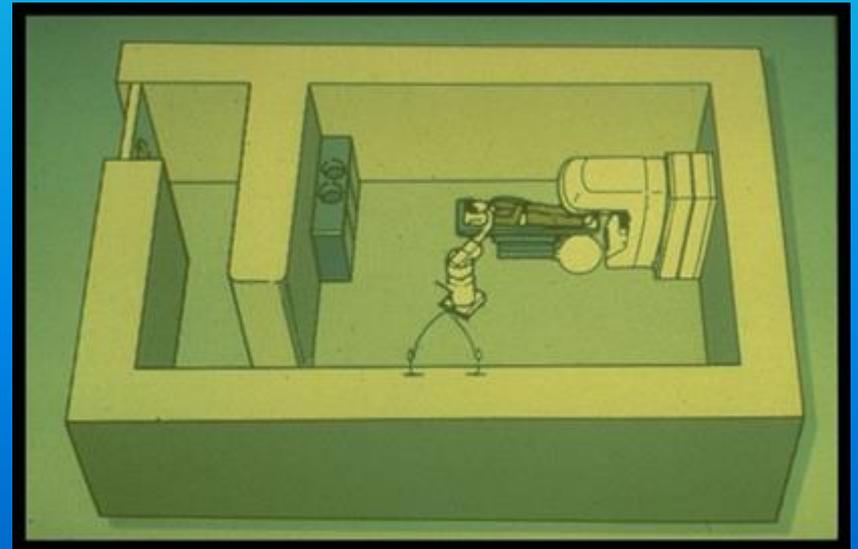
- Zonas controladas
- Zonas supervisadas



- ... además están las áreas públicas.

Zonas controladas en radioterapia

- Todos los locales de tratamiento
- Los locales de preparación de fuentes para braquiterapia
- Las áreas de almacenamiento de fuentes

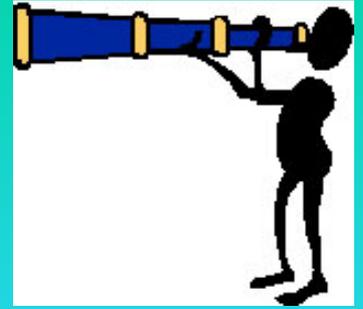


Zonas controladas

- Requieren restricción de acceso
- Requieren enclavamientos dónde sea apropiado
- Requieren señalizaciones
- Equipos de protección y vigilancia radiológica
- Se requiere que el personal siga procedimientos escritos



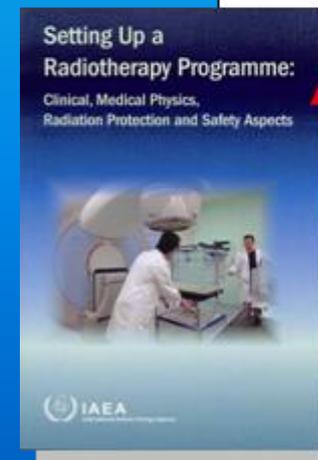
Zonas supervisadas



NBS Apéndice I.24. “Los titulares registrados y los titulares licenciados deberán definir como zona supervisada toda zona que no haya sido ya definida como zona controlada, pero en la que **sea preciso mantener bajo examen las condiciones de exposición ocupacional**, aunque normalmente no sean necesarias medidas de protección ni disposiciones de seguridad específicas.”

Zonas supervisadas en radioterapia

- Consolas de operación
- Áreas en que las tasas de exposición a través de las barreras de blindaje probablemente sean de 1mSv por año [IAEA TECDOC 1040, revisado “Setting up a Radiotherapy Programme (2008)"]



3. Reglas y supervisión locales

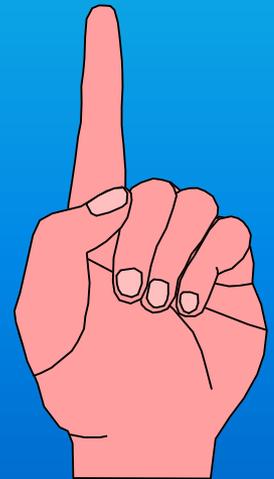
NBS Apéndice I.26. “Los empleadores, los titulares registrados y los titulares licenciados deberán, en consulta con los trabajadores, por medio de sus representantes si procede:

establecer por escrito las reglas y procedimientos locales necesarios para garantizar niveles suficientes de protección y seguridad a los trabajadores y demás personas”



Establecer

- Niveles de investigación o niveles autorizados aplicables (en radioterapia por lo general estos se pueden fijar en valores bajos puesto que la 'exposición normal' es igualmente baja)
- ... así como el procedimiento a seguir en caso que se exceda cualquiera de esos valores;



Garantizar

- Que todo trabajo que implique exposición ocupacional sea supervisado adecuadamente y hacer todo lo que sea razonable para garantizar la observancia de las reglas, procedimientos, medidas protectoras y disposiciones de seguridad
- Designar un oficial de protección radiológica (cuando lo prescriba la autoridad reguladora)

4. Medidas de protección

Un ambiente seguro para el personal se logra mediante

- Diseño apropiado de la edificación
- Instrucción/capacitación
- Señalizaciones
- Blindaje
 - De los equipos
 - Local que aloja el equipo
- Enclavamientos
 - Si se activan han de provocar que el equipo pase a un estado de seguridad

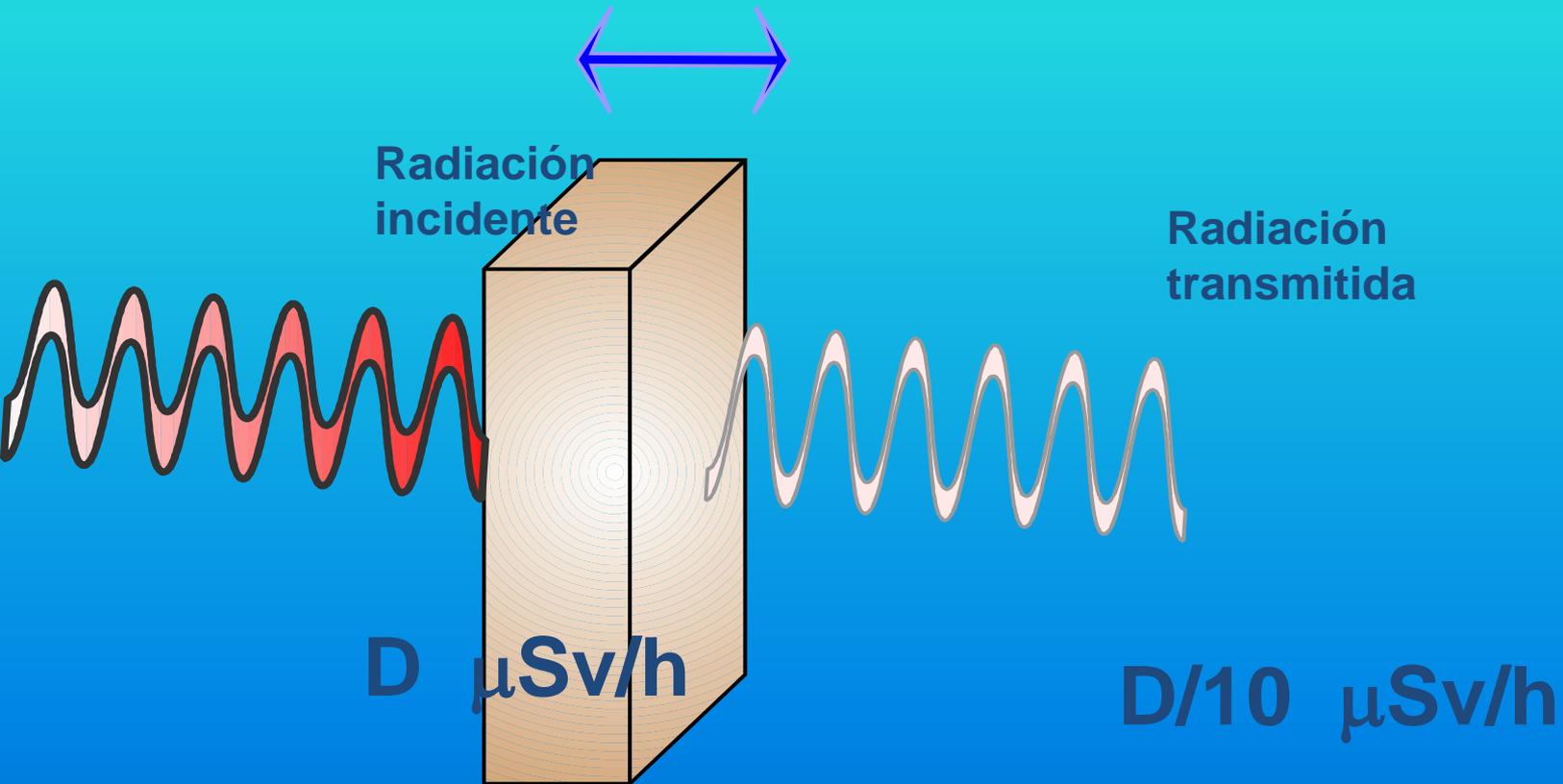


Medidas de protección básicas

- Tiempo
- Distancia
- Blindaje

Blindaje

Espesor de
décimo-reducción



Blindaje, en la práctica

- La radioterapia por lo general emplea fuentes de radiación altamente penetrante - se necesita considerable blindaje.
- Resulta esencial el diseño de locales apropiados de tratamiento, blindados
- Por lo general en radioterapia no resulta de mucha utilidad el empleo de equipos de protección individual (véase NBS, Apéndice I.28) tales como delantales de plomo, guantes de plomo, blindaje de tiroides...

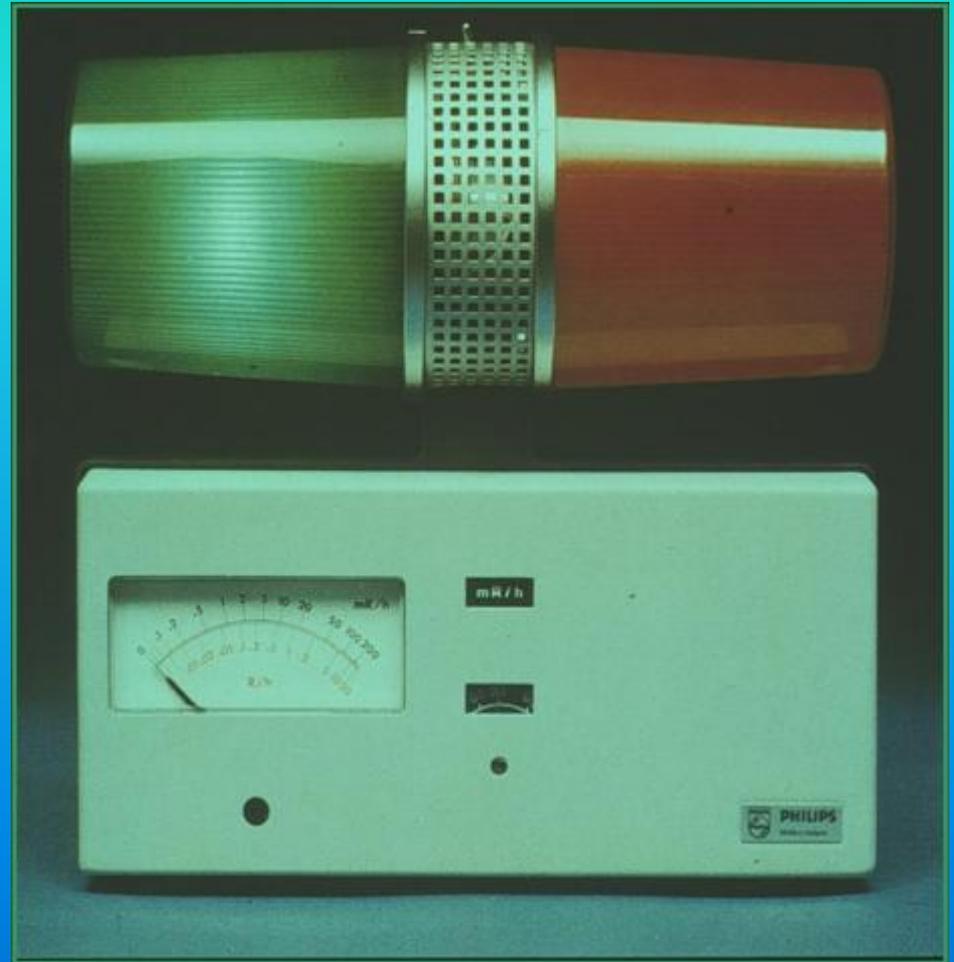
5. Vigilancia radiológica

NBS, Apéndice I.32: “El empleador de todo trabajador, así como los empleados por cuenta propia, los titulares registrados y los titulares licenciados deberán ser los responsables de organizar la **evaluación de la exposición ocupacional de los trabajadores**, basada en la vigilancia radiológica individual, cuando proceda, y deberán cuidar de que se concerten las disposiciones adecuadas con servicios dosimétricos apropiados, con sujeción a un programa adecuado de garantía de calidad.”



Ejemplo de monitor de área con alarma

- Se requiere en la braquiterapia
- También se necesita en las unidades de haz externo con Co-60
- Indica si la fuente está en el contenedor de seguridad, en tránsito, o en el paciente



Philips

Dosímetros pasivos más comúnmente usados

Fílmicos



- Barato
- Registro permanente

- Demora antes de tener resultados disponibles
- Requieren corrección por energía

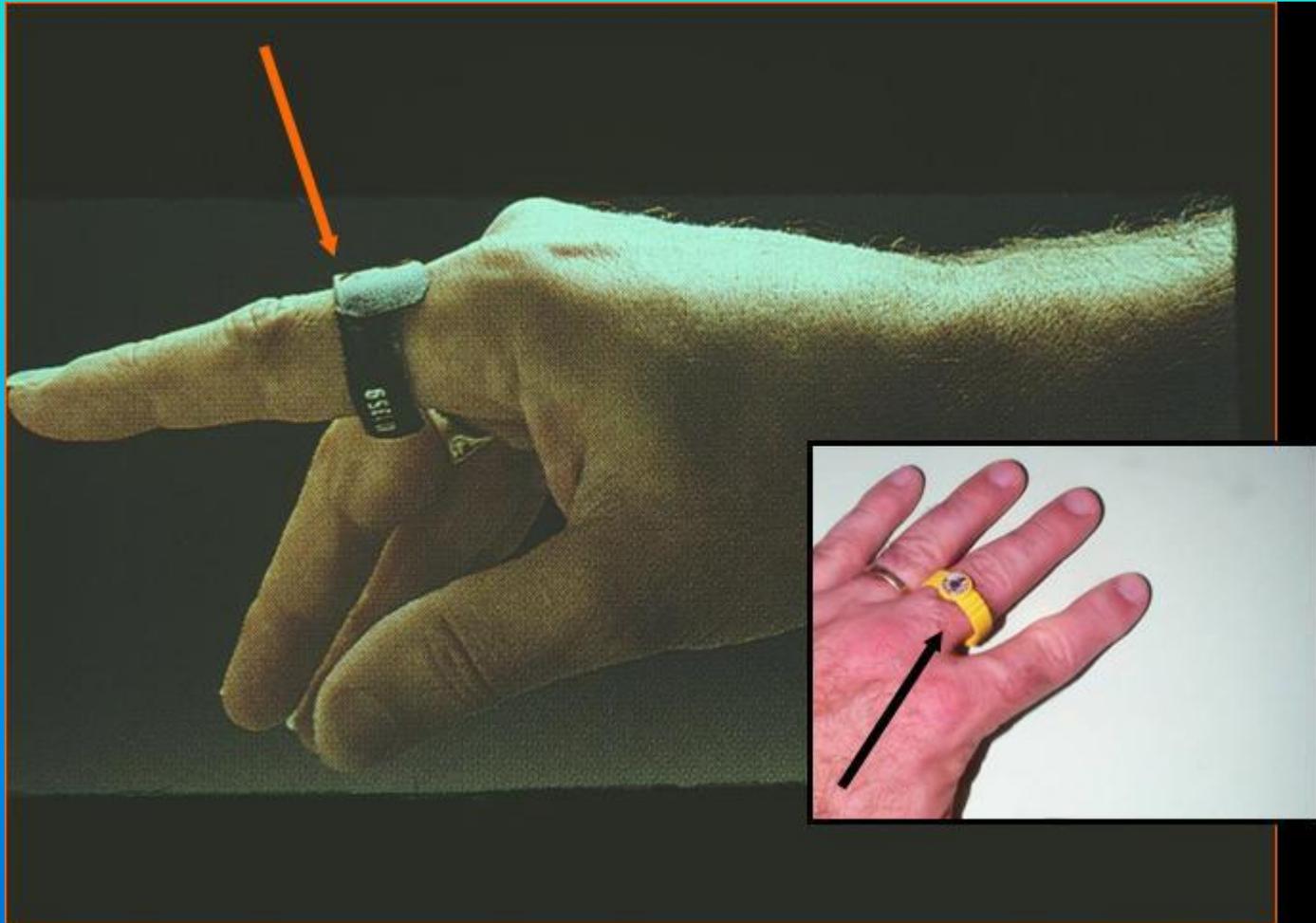
TLDs



- Re-usables
- Fácilmente automatizados
- Más sensibles que los fílmicos

Demora antes de tener resultados disponibles

Monitor TLD de anillo, para el personal que manipula fuentes radiactivas



Dosímetro personal activo: Monitores Geiger de bolsillo

**Resultados
inmediatamente
disponibles**



- Tasa de dosis y/o dosis (integrada)
- Posibilidad de alarma
- Relativamente caros
- La impresión de resultados por lo general no disponible – necesario llevar registros

Resumen

- La radioterapia constituye un enfoque multidisciplinario que involucra una variedad de personal de diversas formaciones profesionales
- Puesto que para la terapia contra el cáncer se requieren altas dosis de radiación, existe el riesgo potencial de altas dosis para el personal
- La braquiterapia tiene el potencial más alto de exposición ocupacional, no obstante, debido a muchos avances tecnológicos, resulta poco probable la exposición significativa del personal que trabaja en radioterapia.

Donde obtener más información

- NBS, Apéndice 1
- International Atomic Energy Agency. Occupational Radiation Protection. Safety Standards Series, Guide No. RS-G-1.1, IAEA, Vienna (1999).
- International Atomic Energy Agency. Assessment of Occupational Exposure due to External Sources of Radiation. Safety Standards Series, Safety Guide No. RS-G-1.3, IAEA, Vienna (1999).
- International Commission on Radiological Protection. Radiological Protection and Safety in Medicine, ICRP report 73. Oxford: Pergamon Press; 1996.
- International Commission on Radiological Protection. Radiological Protection and Safety and pregnancy, ICRP report 83. Oxford: Pergamon Press; 2000.
- La literatura local, nacional o internacional y legislación en la salud profesional y seguridad

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN RADIOTERAPIA

Protección del Público

Exposición del público

Colección Seguridad del OIEA No. 120 y el glosario de las NBS:

“Exposición sufrida por miembros del público a causa de fuentes de radiación, excluidas cualquier exposición ocupacional o médica y la exposición a la radiación natural de fondo normal en la zona, pero incluida la exposición debida a las fuentes y prácticas autorizadas y a las situaciones de intervención.”

1. La radioterapia y el público

- Público:
 - Personas que viven en los alrededores de una instalación de radioterapia
 - Visitantes al departamento
 - Familiares, amigos y otras personas que pueden estar en contacto con los pacientes

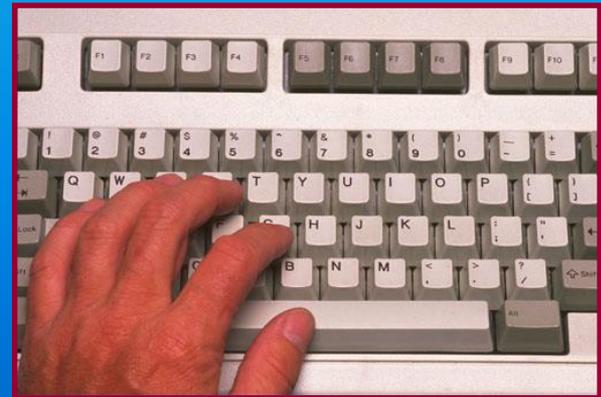
...público pudiera ser también

- Personal de otros departamentos o divisiones
- Contratistas
 - Electricistas
 - Pintores
 - Plomeros



En radioterapia

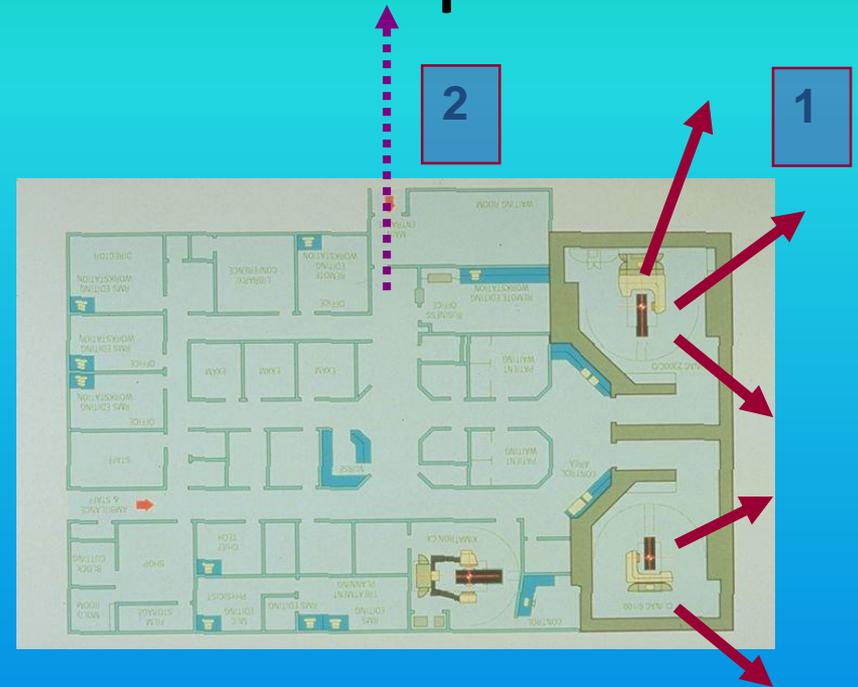
- Requiere un programa de seguridad radiológica
- Políticas y procedimientos escritos
 - Estos deben incluir todas las áreas potenciales de exposición
 - ej. en el manual para contratistas externos debe incluirse alguna información sobre la radiación.
- Lo más probable es que haya un comité de seguridad radiológica y un oficial de protección radiológica



2. Posibilidades de exposición del público en la radioterapia

- Externa

- Blindaje de la instalación – para el mundo exterior (1)
- Alta de los pacientes con implantes radiactivos (2)
- Desechos radiactivos



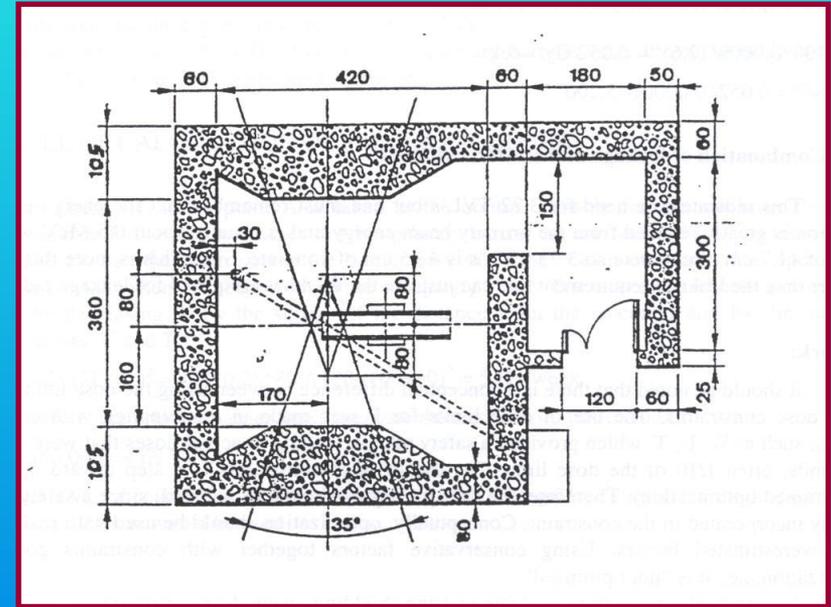
2. Posibilidades de exposición del público en la radioterapia

- Interna
 - Blindaje de la instalación – para los visitantes
 - Desechos radiactivos



En la práctica de la radioterapia

- Colaboración estrecha con la autoridad correspondiente
- Chequear el blindaje ya en la fase de planificación
- Verificación de las restricciones de dosis utilizadas en los cálculos



Límites de dosis para la exposición del público

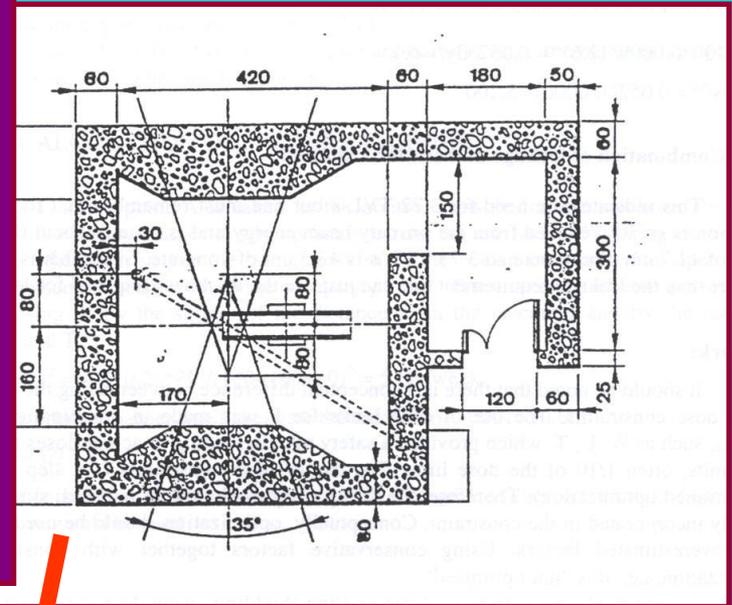


- NBS Adenda II (e ICRP 60)
 - Dosis efectiva 1mSv/año
 - Bajo circunstancias especiales 5mSv/año (pero no más de 5mSv/5años)
 - Dosis equivalente al cristalino del ojo: 15mSv/año
 - Dosis equivalente a la piel: 50mSv/año
- ¡¡¡Puede ser diferente en su país!!!

En la práctica de la radioterapia

- Colaboración estrecha con

Las contribuciones a la exposición pueden proceder de muchas fuentes – por tanto los diseños de una instalación deben ser blindados para restringir la dosis más que lo requerido por la restricción de dosis (típicamente: 1/3)



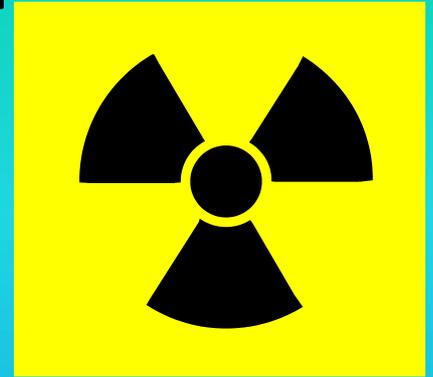
utilizadas en los cálculos

Radiología



Medicina Nuclear

Medios para minimizar la exposición del público



- Designación de zonas en:
 - Públicas
 - Supervisadas
 - Controladas
- Comparable con la exposición ocupacional

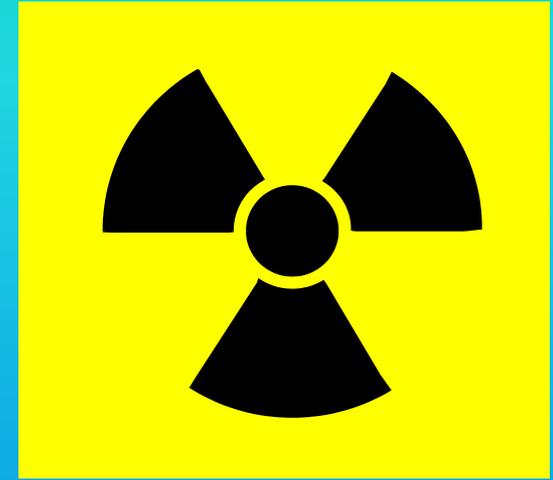
Zona controlada

Una zona controlada es un área donde se requieren procedimientos de control con el objetivo de restringir la exposición a la radiación



Medios para prevenir la exposición del público

- Restricción de acceso
- Blindaje
- Señales de advertencia
- Luces
- Enclavamientos (*ej.* puerta)
- Información escrita



Resumen

- Si un departamento de radioterapia está bien diseñado el riesgo de la exposición del público usualmente es muy pequeño
- Los procedimientos deben establecerse y estar disponibles por escrito
- La información al personal y al público sobre los riesgos potenciales es esencial

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN RADIOTERAPIA

Seguridad Física de las Fuentes y
Disposición Final de
las Fuentes en Desuso

Objetivos

- Que se pueda aplicar el concepto de fuente de radiación a la radioterapia
- Comprender como lograr la seguridad física de las fuentes de radioterapia
- Conocer el proceder apropiado para la disposición final de las fuentes de radioterapia

1. Fuentes en radioterapia

- Equipos de rayos X
- Fuentes radiactivas para radioterapia por haz externo
- Fuentes radiactivas para braquiterapia
- Otras fuentes



Equipos de rayos X

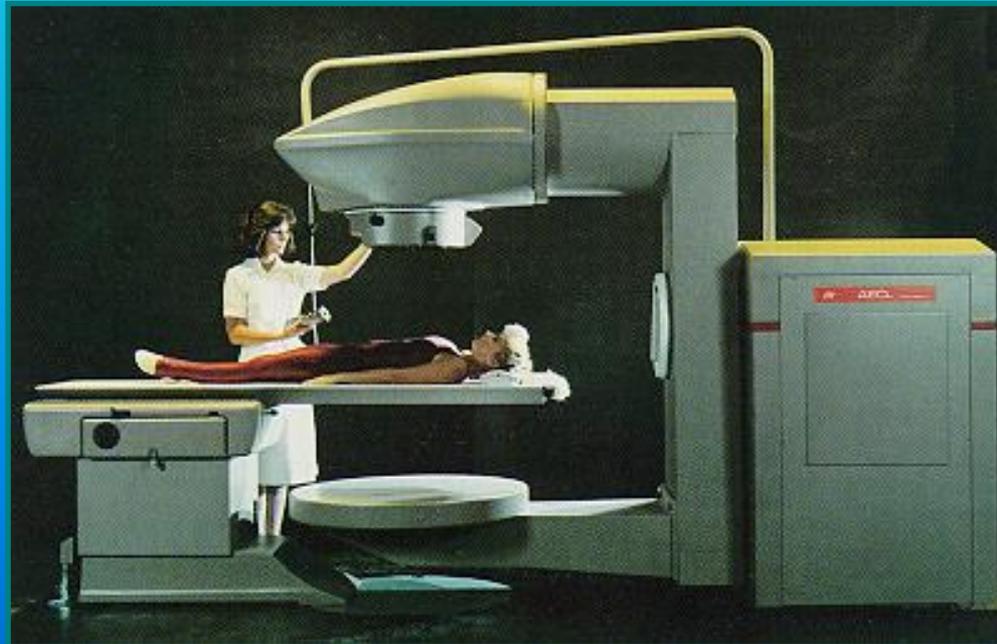
- Fuente muy común de radiación en radioterapia
- No constituye gran preocupación para la seguridad de las fuentes y su disposición puesto que cuando la unidad está apagada no hay radiación...



Cortesía de Siemens Medical

Fuentes radiactivas para la radioterapia por haz externo

Para la práctica se han de considerar las unidades de Cs-137 y principalmente las de Co-60



MDS Nordion

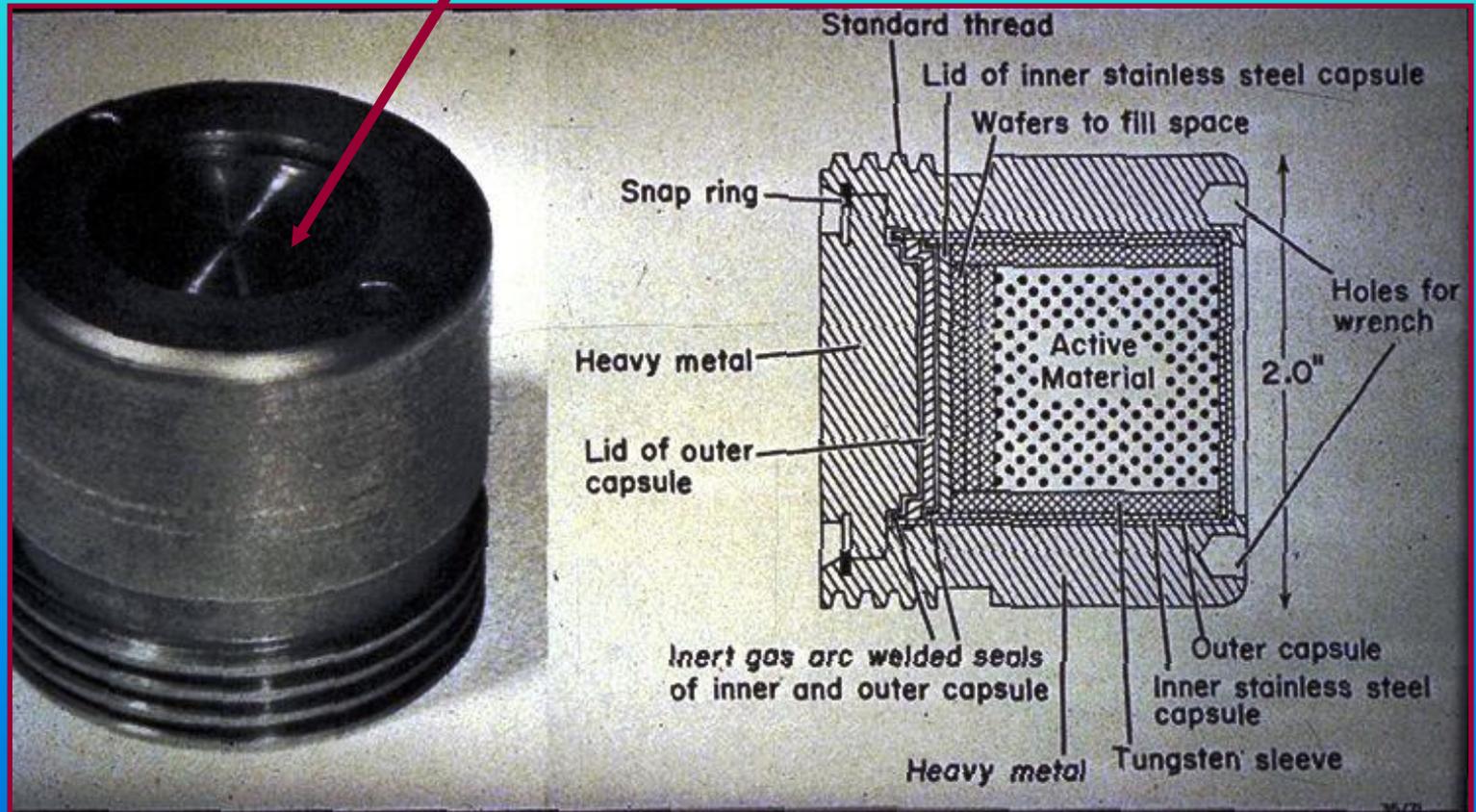
Fuentes radiactivas para EBT

- Actividad alta ($>100\text{TBq}$ (3000 Ci))
- Pequeñas (altura y diámetro de pocos centímetros)
- Período de semidesintegración relativamente largo; de 5.26 años para Co-60; y 30 años para Cs-137
- En el pasado ya han sido objeto de un accidente radiactivo mayor... (Goiânia)

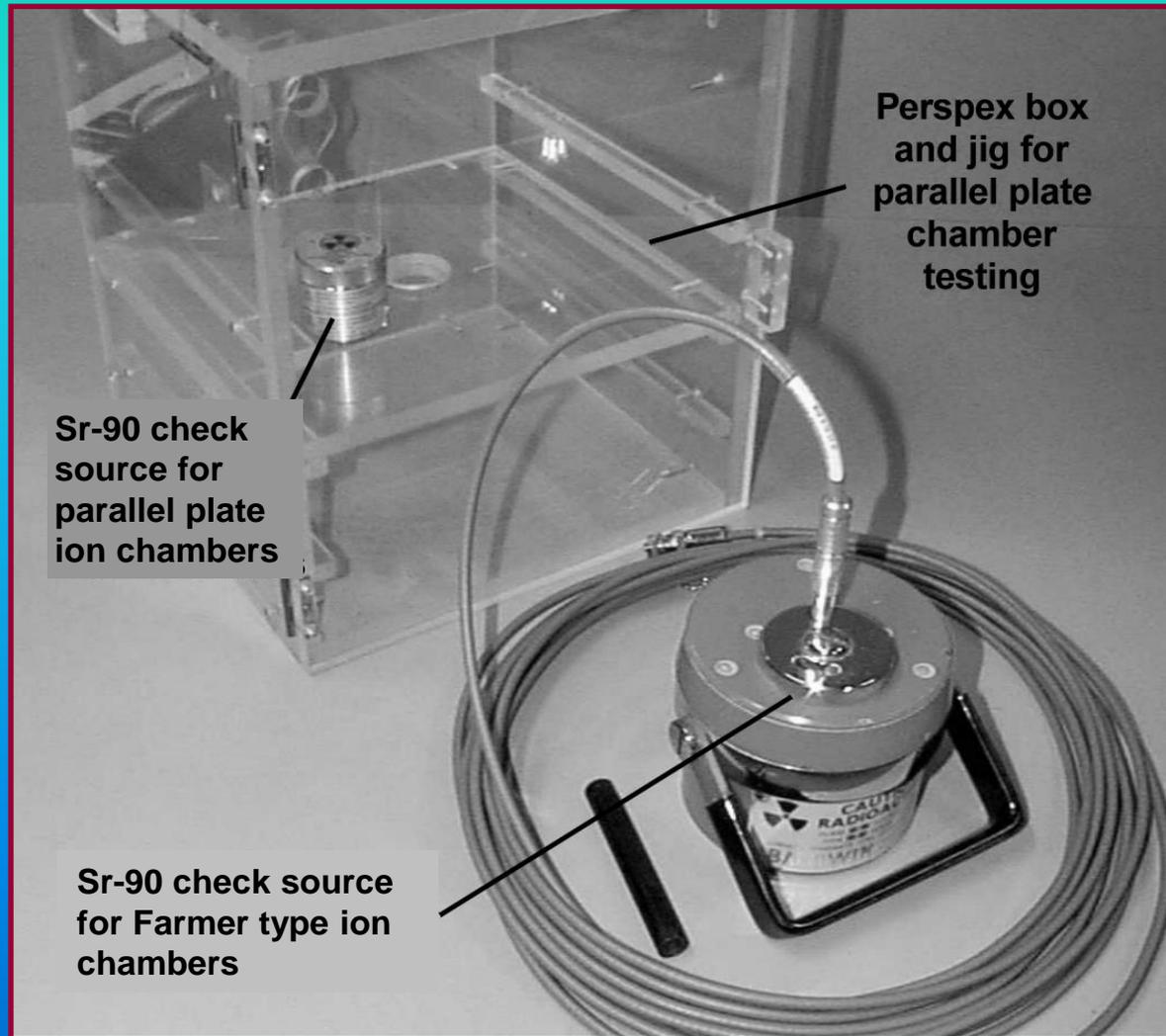
Fuente de teleterapia de Co-60

120TBq

5cm



Otras fuentes



Otras fuentes

- Fuentes de verificación para equipos dosimétricos
- Fuentes de verificación para blindajes
- Todas las fuentes se pueden considerar selladas, excepto las fuentes no selladas de radioterapia (que se tratan en el curso sobre medicina nuclear)

En la práctica una pequeña parte del inventario radiactivo de un departamento de radioterapia - las consideraciones respecto a la seguridad física y disposición final de estas fuentes son similares a las de las fuentes de braquiterapia

2. Seguridad de las fuentes



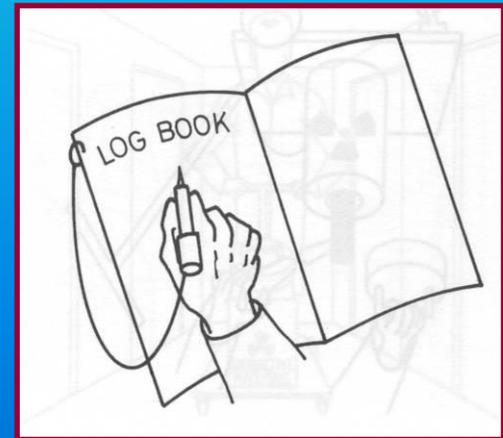
NBS 2.34: “Las fuentes se deberán guardar en condiciones de seguridad que impidan su **robo o deterioro** y que impidan a toda persona jurídica no autorizada realizar alguna de las acciones especificadas en las "Obligaciones generales" relativas a las prácticas, estipuladas por las Normas (véanse los párrafos 2.7 a 2.9), velándose por que:

- (a) no se ceda el control de una fuente sin dar cumplimiento a todos los requisitos aplicables especificados en la inscripción en registro o la licencia y sin cursar una comunicación inmediata a la autoridad reguladora, y cuando proceda a la Organización patrocinadora competente, informando sobre toda fuente descontrolada, perdida, robada o desaparecida;”

...

...y...

- b) no se efectúe la transferencia de una fuente a no ser que el destinatario posea una autorización válida; y
- c) se haga un inventario periódico de las fuentes movibles, a intervalos apropiados, para cerciorarse de que permanecen en los lugares asignados y en condiciones de seguridad.”



Seguridad física de las fuentes

No es un problema para los equipos de rayos X si se asume que

- Fueron adecuadamente diseñados y mantenidos
- Sólo personas autorizadas pueden operar el equipo
- A la unidad no se puede acceder por personas no autorizadas

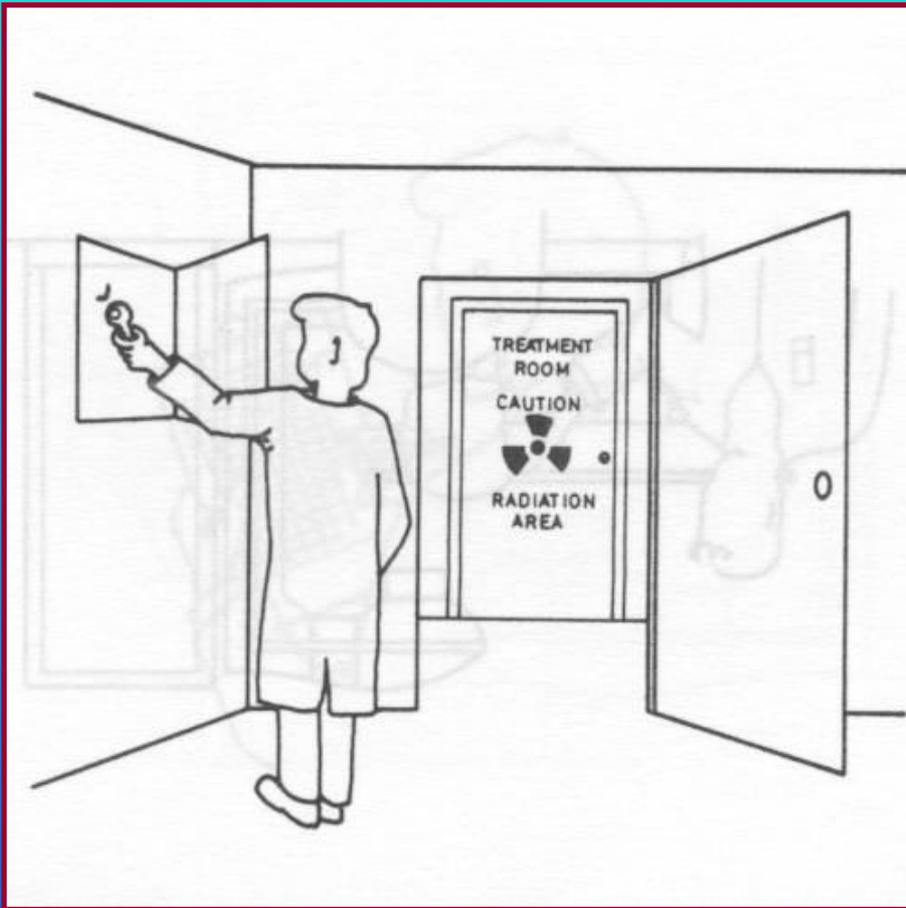
Consola de linac



Llave requerida
para la operación



Seguridad física de las fuentes

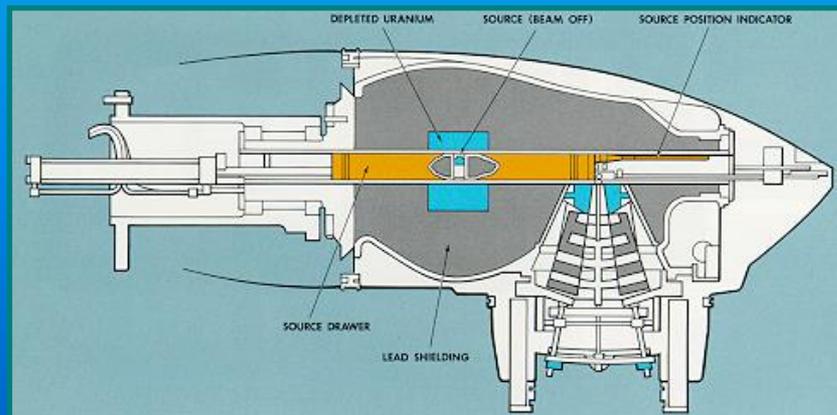


Todos los equipos de radiación deben cerrarse con llave cuando no estén en uso...

Seguridad física de las fuentes de Co-60

En las unidades de teleterapia:

- Fundamentalmente una característica de diseño del equipo
- Los locales de tratamiento deben cerrarse con llave
- La transferencia de la fuente sólo se ha de hacer por personas calificadas
- ¡Se ha de tener gran cuidado al disponer de la fuente - **debe** devolverse a una persona o compañía autorizada!!!



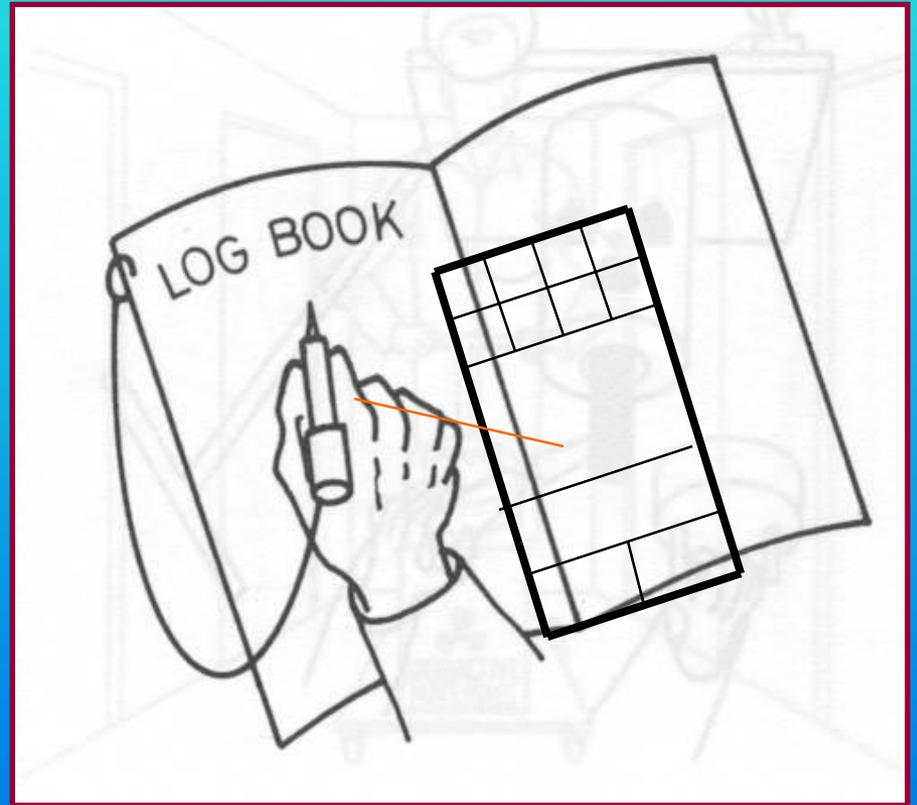
Características del almacenamiento de fuentes

- Seguro (cerradura y llave)
- Etiquetas
- Diversos compartimentos
- Blindaje
- Fácil acceso
- Bien organizado



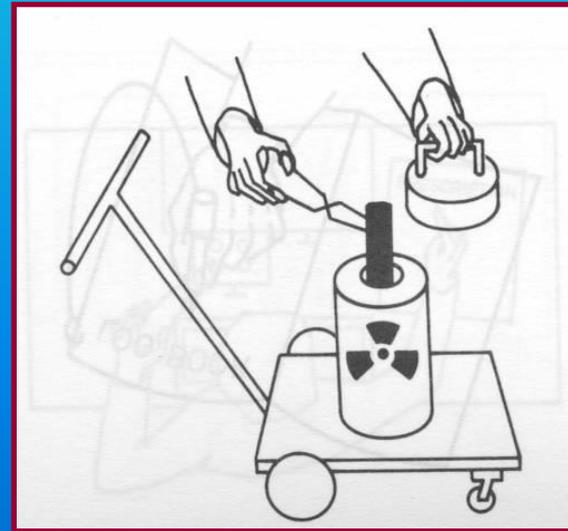
Es importante llevar un buen libro de incidencias

- Actualizar con cada movimiento de fuentes
- Frases claras
- Identificar todas las fuentes
- Puede ser conveniente un esquema del contenedor de seguridad

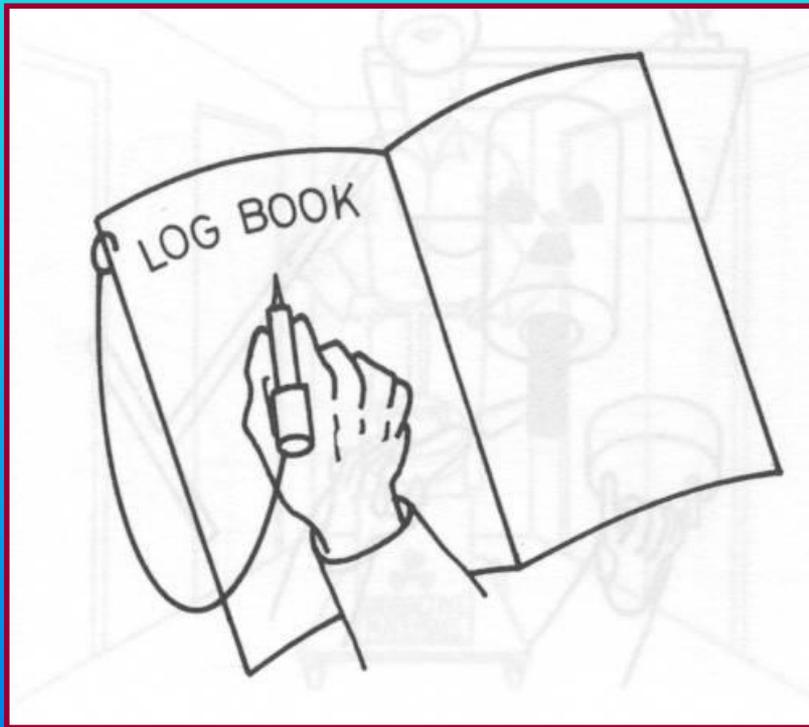


Transporte de las fuentes

- Siempre acompañado por una persona calificada
- Los detalles se darán en otra parte del curso



Contabilidad de las fuentes



Se debe registrar la recepción, el almacenamiento, la utilización y todos los movimientos de cada fuente

Disposición final de las fuentes de braquiterapia

- Los implantes permanentes 'se van con el paciente'
 - Las fuentes restantes deben ser dispuestas apropiadamente
- Para las fuentes de implantes temporales la disposición depende de la actividad y del período de semidesintegración:
 - Las fuentes de períodos de semidesintegración corto/medio, y actividad baja/media (ej. de Ir-192 de LDR) pueden almacenarse hasta que decaigan a una actividad que esté por debajo de los valores límite especificados por la autoridad reguladora
 - Esta estrategia no aplica para las fuentes de alta actividad de Ir-192 de HDR o de Cs-137

Fuentes de Ir-192 de HDR

- Por lo general se intercambian
- Para el intercambio se necesita personal capacitado
- No se recomienda su almacenamiento

Fuentes de Cs-137

- A pesar del período de semidesintegración de 30 años la mayoría de los fabricantes especifica sólo una vida útil de 10 años. Esto es principalmente debido a:
 - El riesgo de daño al encapsulado
 - Por *ej.* las pastillas de Cs en Microselectron 'chocan' durante la carga de los aplicadores
- Se requieren pruebas de frotis
- La disposición final solo a personas autorizadas para recibir las fuentes

Resumen

- La seguridad y protección física de las fuentes deben garantizarse para todas las fuentes de radioterapia
- La seguridad física de las fuentes depende de un sistema de contabilidad
- **La disposición final de las fuentes es una responsabilidad mayor del titular licenciado - las fuentes solo se pueden poner a disposición de una persona o compañía autorizada**

Marco Regulatorio en Argentina

AR 10.13.2.

Norma de seguridad física de fuentes selladas

REVISIÓN 0

Aprobada por Resolución del Directorio de la Autoridad
Regulatoria Nuclear N° 8/07 (Boletín Oficial 30/1/07)

NORMA DE SEGURIDAD FÍSICA DE FUENTES SELLADAS

OBJETIVO

1. Establecer los criterios generales para la seguridad física de fuentes selladas.

B. ALCANCE

2. La presente norma se aplica al manejo de Fuentes Selladas Categoría 1, Categoría 2 y Categoría 3 y no es aplicable a fuentes selladas utilizadas en programas militares o de defensa.

La presente norma no se aplica a los materiales protegidos alcanzados por la Norma AR 10.13.1, salvo por lo que se refiere a las fuentes selladas que contienen ²³⁹Pu.

C. EXPLICACIÓN DE TÉRMINOS

- 3. Cultura de la Seguridad Física:** Características y actitudes de las organizaciones y personas que determinan que las cuestiones de seguridad física reciban la atención que merecen por su importancia.
- 4. Fuente de Radiación:** cualquier sustancia natural o artificial, o equipo o dispositivo tecnológico que emite radiaciones ionizantes.
- 5. Fuente Radiactiva:** Fuente de radiación que contiene material radiactivo.
- 6. Fuente Sellada:** Fuente radiactiva en la que el material radiactivo se halla en una o más cápsulas suficientemente resistentes para prevenir el contacto y dispersión del material radiactivo, bajo las condiciones de uso para la cual fue diseñada.

7. Fuente Sellada Categoría 1: Fuente sellada, de actividad igual o mayor al valor D_1 establecido en el Anexo a esta Norma.

8. Fuente Sellada Categoría 2: Fuente sellada, de actividad comprendida entre los valores D_1 y D_2 establecidos en el Anexo a esta Norma.

9. Fuente Sellada Categoría 3: Fuente sellada, de actividad comprendida entre los valores D_2 y D_3 establecidos en el Anexo a esta Norma.

10. Fuente Huérfana: Fuente radiactiva que no está sometida a control regulatorio, sea porque nunca lo estuvo, o porque ha sido abandonada, perdida, extraviada, hurtada, robada, o transferida sin la debida autorización

16. Seguridad Física: Conjunto de medidas destinadas a prevenir, evitar y responder, con un grado razonable de seguridad, actos que den lugar a:

- a. El robo, hurto o sustracción de fuentes selladas;
- b. El acceso no autorizado, la pérdida o transferencia no autorizada de las fuentes, o
- c. El sabotaje o daño a fuentes selladas, o el sabotaje, intrusión o daño a instalaciones y equipos que las contengan, que produzcan o pudieran producir la pérdida de confinamiento o la disminución del blindaje.

17. Sistema de Seguridad Física: Conjunto de personas, procedimientos y medios disponibles en forma permanente que implementan las medidas de seguridad física.

21. Zona Protegida: Zona sometida a constante vigilancia por personal de guardia o medios técnicos o ambos, circundada por una barrera física y con un número limitado de accesos controlados.

28. La existencia de un sistema de seguridad física adecuado que se encuentre operativo en forma permanente es una condición necesaria para el manejo de las fuentes selladas.

29. El sistema de seguridad física debe ser acorde con el nivel de seguridad que corresponda aplicar y debe ajustarse a los siguientes criterios:

- a. La seguridad física es una condición necesaria pero no suficiente para la seguridad radiológica de las fuentes selladas, y ninguna medida de seguridad física debe ir en desmedro de la seguridad radiológica.
- b. El sistema de seguridad física debe poseer la flexibilidad necesaria para aumentar o disminuir la intensidad de las medidas de seguridad física de acuerdo con la amenaza
- c. Ninguna medida de vigilancia y seguridad destinada al resguardo de bienes patrimoniales irá en desmedro de las medidas de seguridad física de las fuentes selladas.
- d. El diseño de los sistemas de seguridad física debe basarse principalmente en la prevención y la disuasión, particularmente mediante el uso de medidas pasivas.
- e. En el diseño del sistema de seguridad física debe lograrse una adecuada complementación entre los medios técnicos y los procedimientos operativos.
- f. Los procedimientos operativos de seguridad física deben establecerse de manera tal que se minimice cualquier interferencia con los trabajos que normalmente realiza el personal de operación.

D2.1. Nivel I de seguridad física

37. El nivel I de seguridad física se aplica al manejo de las Fuentes Selladas Categoría 1.

38. La intensidad de las medidas de seguridad física en el nivel I de seguridad física debe mantener una adecuada proporción con la actividad de la fuente sellada, para el radionucleido que se trate.

39. En las instalaciones bajo nivel I de seguridad física, las fuentes selladas, las estructuras, los sistemas y los componentes de la instalación que puedan ser vulnerables a los actos intencionales referidos en el Inciso a) del Criterio 27, deben estar ubicados dentro de una Zona Protegida.

D2.2. Nivel II de seguridad física

40. El nivel II de seguridad física se aplica al manejo de las Fuentes Selladas Categoría 2.

41. La intensidad de las medidas de seguridad física en el nivel II de seguridad física debe mantener una adecuada proporción con la actividad de la fuente sellada, para el radionucleido que se trate.

42. En las instalaciones bajo nivel II de seguridad física, las fuentes selladas, las estructuras, los sistemas y los componentes de la instalación que puedan ser vulnerables a los actos intencionales referidos en el Inciso a) del Criterio 27, deben estar en la medida de lo posible ubicados dentro de una Zona Protegida.

D2.3. Nivel III de seguridad física

43. El nivel III de seguridad física se aplica al manejo de las Fuentes Selladas Categoría 3.

VALORES D PARA FUENTES SELLADAS CATEGORÍA 1, 2 y 3

Radionucleido	D ₁ (TBq)	D ₂ (TBq)	D ₃ (TBq)
²⁴¹ Am	6.E+01	6.E-01	6.E-02
²⁴¹ Am/Be	6.E+01	6.E-01	6.E-02
²⁵² Cf	2.E+01	2.E-01	2.E-02
²⁴⁴ Cm	5.E+01	5.E-01	5.E-02
⁶⁰ Co	3.E+01	3.E-01	3.E-02
¹³⁷ Cs	1.E+02	1.E+00	1.E-01
¹⁵³ Gd	1.E+03	1.E+01	1.E+00
¹⁹² Ir	8.E+01	8.E-01	8.E-02
¹⁴⁷ Pm	4.E+04	4.E+02	4.E+01
²³⁸ Pu	6.E+01	6.E-01	6.E-02
²³⁸ Pu/Be	6.E+01	6.E-01	6.E-02
²²⁶ Ra	4.E+01	4.E-01	4.E-02
⁷⁵ Se	2.E+02	2.E+00	2.E-01
⁹⁰ Sr(⁹⁰ Y)	1.E+03	1.E+01	1.E+00
¹⁷⁰ Tm	2.E+04	2.E+02	2.E+01
¹⁶⁹ Yb	3.E+02	3.E+00	3.E-01
¹⁹⁸ Au	2.E+02	2.E+00	2.E-01
¹⁰⁹ Cd	2.E+04	2.E+02	2.E+01
⁵⁷ Co	7.E+02	7.E+00	7.E-01
⁵⁵ Fe	8.E+05	8.E+03	8.E+02
⁶⁸ Ge	7.E+02	7.E+00	7.E-01
⁶³ Ni	6.E+04	6.E+02	6.E+01
¹⁰³ Pd	9.E+04	9.E+02	9.E+01
²¹⁰ Po	6.E+01	6.E-01	6.E-02
¹⁰⁶ Ru	3.E+02	3.E+00	3.E-01
²⁰⁴ Tl	2.E+04	2.E+02	2.E+01

VALORES D PARA FUENTES SELLADAS CATEGORÍA 1, 2 y 3

Radionucleido	D₁ (TB q)	D₂ (TB q)	D₃ (TB q)
²⁴¹ Am	6.E+01	6.E-01	6.E-02
²⁴¹ Am/Be	6.E+01	6.E-01	6.E-02
²⁵² Cf	2.E+01	2.E-01	2.E-02
²⁴⁴ Cm	5.E+01	5.E-01	5.E-02
⁶⁰ Co	3.E+01	3.E-01	3.E-02
¹³⁷ Cs	1.E+02	1.E+00	1.E-01
¹⁵³ Gd	1.E+03	1.E+01	1.E+00
¹⁹² Ir	8.E+01	8.E-01	8.E-02