CURSO DE ACTUALIZACIÓN EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA PARA MÉDICOS RADIONCÓLOGOS

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

FUNDACIÓN MARIE CURIE
CÓRDOBA, 7 al 9 de JUNIO 2018

Lic. Ana M. Larcher
Lic. Marcela G. Ermacora

FUENTES DE RADIACIÓN ASOCIADAS A LA RADIOTERAPIA MODERNA

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

TEMARIO

- BREVE REVISIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS
- QUÉ ES UNA FUENTE DE RADIACIÓN
- POR QUÉ Y CÓMO ABORDAMOS EL TEMA DE LAS FUENTES DE RADIACIÓN
- FUENTES ASOCIADAS A LA RADIOTERAPIA
- USO DE IMÁGENES EN RADIOTERAPIA MODERNA: ¿UN TEMA DE RADIOPROTECCIÓN?
- ASPECTOS DE CALIBRACIÓN DE FUENTES
- CONCEPTOS DE SEGURIDAD FÍSICA DE FUENTES

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

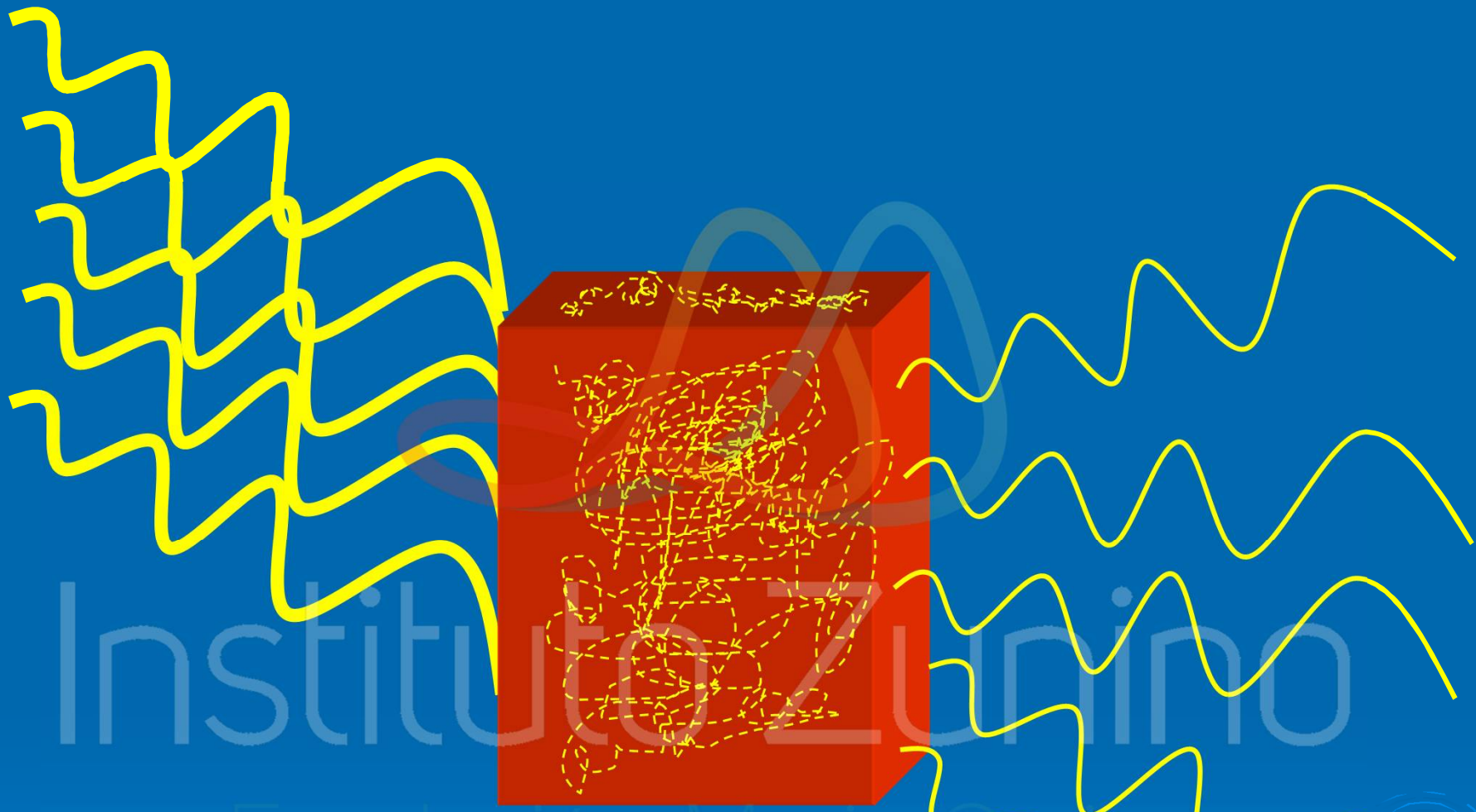
¿Por qué razón física, las radiaciones ionizantes le resultan útiles al hombre?

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

La utilidad de la radiación ionizante proviene de la Interacción

RADIACIÓN ⟷ MATERIA

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie



Cuando Radiación y Materia interactúan se modifican recíprocamente

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

INTERACCION RADIACION - MATERIA

Modificaciones en el Haz de Radiación →

INFORMACIÓN (o DIAGNÓSTICO)

sobre → **Materia viva**

sobre → **Materiales**

CAMBIOS (o TRATAMIENTO)

Modificaciones en el Material Irradiado →

en → **Materia viva**

en → **Materiales**

Instituto Zuloaga
Fundación Marie Curie

Usos Médicos de las Radiaciones Ionizantes

- **USOS DIAGNÓSTICOS:** Imágenes diagnósticas de enfermedades o lesiones.
- **USOS TERAPÉUTICOS (CURATIVOS O PALIATIVOS):** Destrucción de células tumorales o inhibición de la proliferación de tejidos.

Instituto Zunino

¿Qué es una fuente de radiación?

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

FUENTES DE RADIACIÓN

- **DEFINICIÓN**: “Una fuente de radiación es cualquier cosa que pueda causar exposición a la radiación - ya sea por emisión de radiación ionizante o por liberación de material radiactivo – y que puede ser tratada como una entidad única para fines de protección y seguridad” (Glosario nueva Norma Básica del OIEA)

Instituto Zunino
Fundación Mario Zunino

FUENTES DE RADIACIÓN

- **DOS GRANDES GRUPOS**
  - **FUENTES RADIACTIVAS**: Aquéllas que contienen material radiactivo (material que emite radiación ionizante)
  - **GENERADORES DE RADIACIÓN:** Dispositivos capaces de generar radiación ionizante, tales como generadores de Rayos X

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Los Materiales Radiactivos
irradian sin necesidad
de una fuente de energía externa

Y **no** se los puede
"desconectar"
para que dejen de irradiar

Pero los niveles de radiación
disminuyen con el tiempo
porque la Actividad decae

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Los Generadores de Radiación
requieren
de una fuente de energía externa

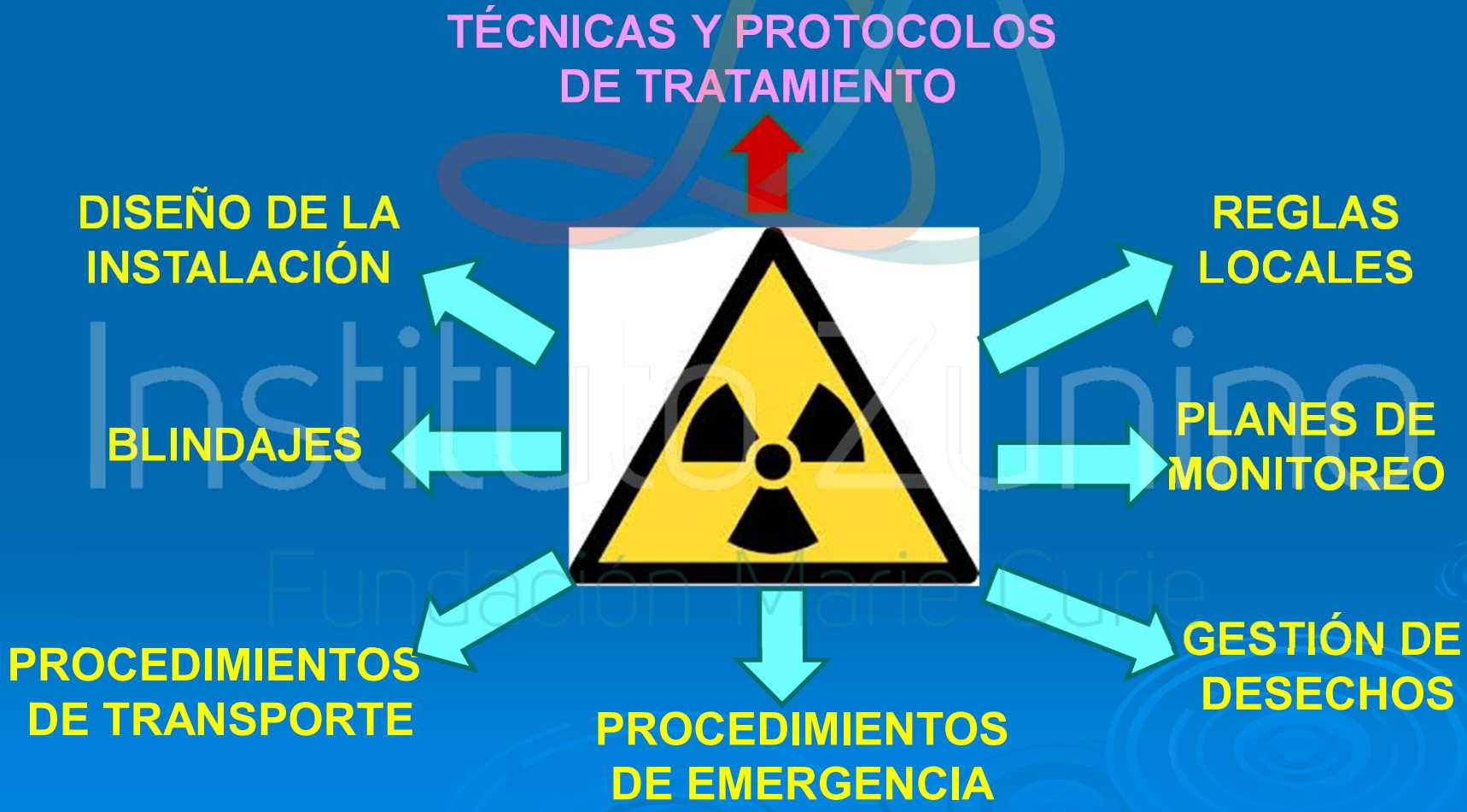
Se los puede
"desconectar"
para que dejen de
irradiar

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

¿Por qué y cómo abordamos el tema de las fuentes de radiación?

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

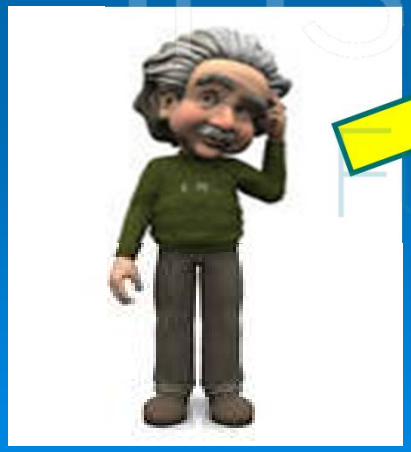
Nos ocupamos de las fuentes de radiación porque….

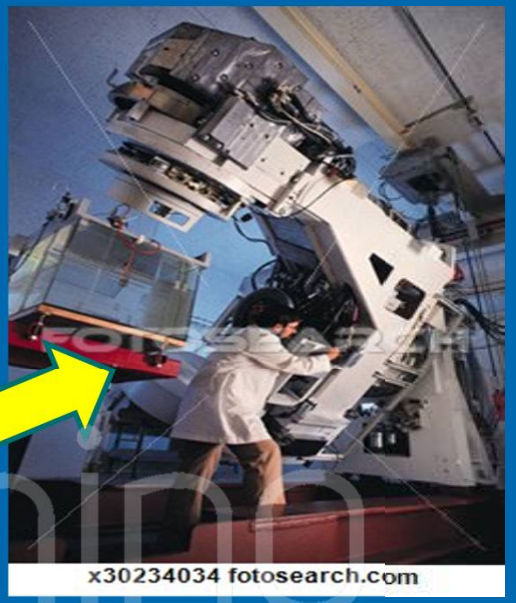


Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

3 VISIONES DE UN MISMO ELEMENTO

3 VISIONES DE UN MISMO ELEMENTO





3 VISIONES DE UN MISMO ELEMENTO

EVALUACIONES DE SEGURIDAD

El análisis de todos los aspectos de una práctica que son relevantes para la protección y la seguridad

REPRESENTAN EL ESQUEMA DE PENSAMIENTO DEL ESPECIALISTA EN RADIOPROTECCIÓN

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Evaluaciones de seguridad

1er Paso

- Conocer su función
  - OBJETIVO y CARACTERÍSTICAS DE LAS PRÁCTICAS
  - FUENTES ADSCRIPTAS A ELLAS

2do Paso

- Evaluar el riesgo
  - CARÁCTER DE LAS EXPOSICIONES (esperadas y potenciales)
  - MAGNITUD DE LAS DOSIS ESPERADAS

3er Paso

- Determinar los mecanismos para disminuir el riesgo
- TIPO Y AMPLITUD DE LA MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD PARA OPTIMIZAR LA PROTECCIÓN Y DAR CUMPLIMIENTO A LAS NORMAS

Instituto Zunino
Fundación Mario Zunino

FUENTES ASOCIADAS A LA RADIOTERAPIA

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Radioterapia: 2 Modalidades
Múltiples y variadas fuentes

HAZ EXTERNO

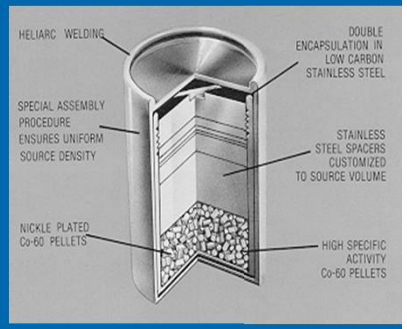
BRAQUITERAPIA

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Radioterapia
Fuentes Radiactivas

3,7 MBq – 370 TBq

(10^{-4} Ci – 10^{4} Ci)



Rango de actividad de fuentes

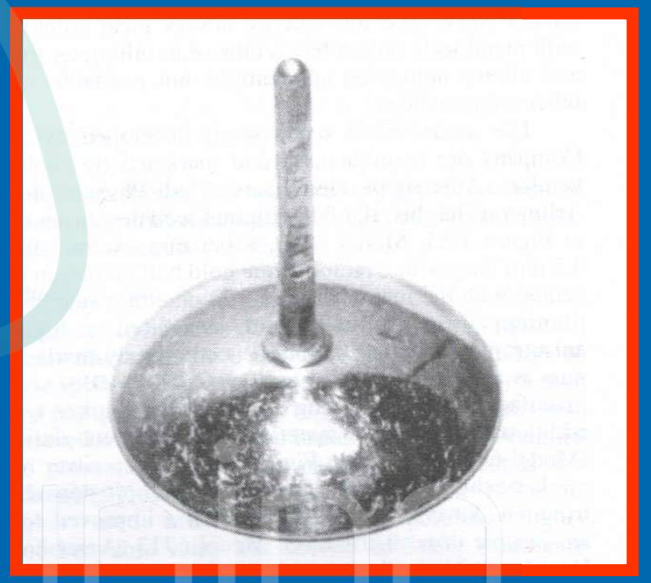
Radioterapia
Fuentes Radiactivas

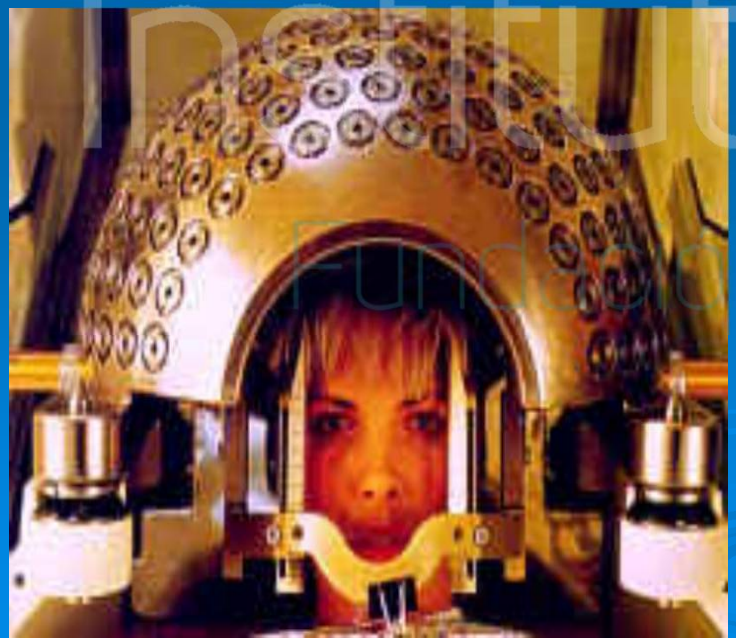
Aplicador oftálmico

Fuentes beta de 90-Sr/Y

Actividades típicas:

40-200 MBq (10-50 mCi)





Gammaknife

201 fuentes gamma de Co-60

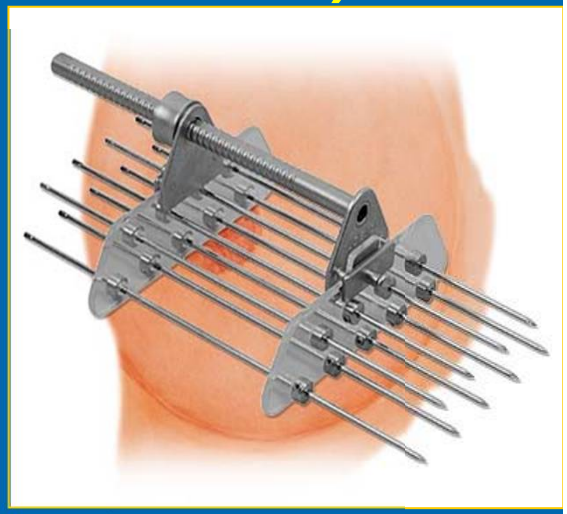
Actividades típicas:

1.1 TBq (30 Ci)

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

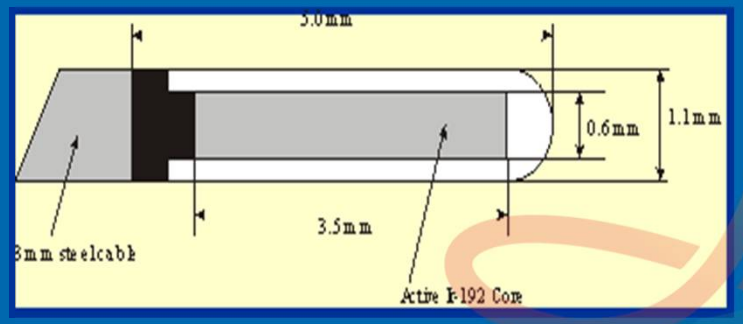
Fuentes de Ir-192 (alambres)

- Usados en implantes intersticiales
- Su actividad depende de la longitud empleada en el implante



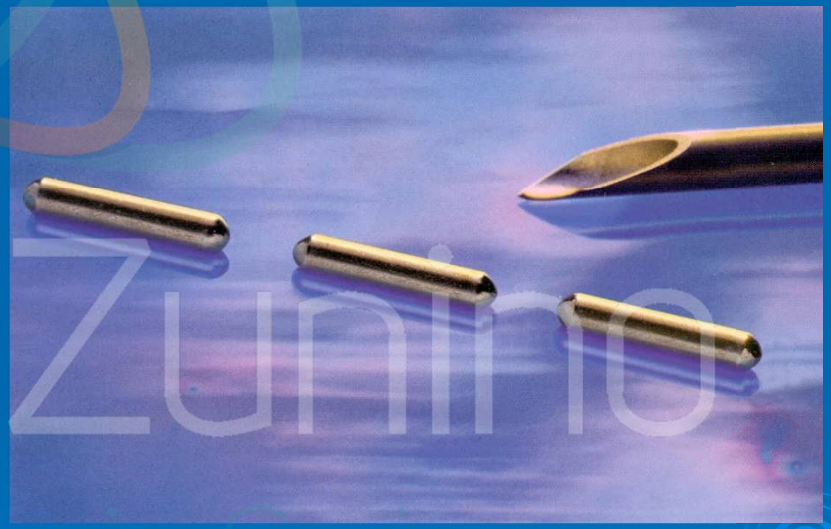
Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Fuente de Ir-192 para HDR



- 370GBq (10 Ci)

Semillas de I-125



- 13.3 MBq (0,36 mCi)

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Radioterapia
Generadores de radiación

Equipos de Tratamiento

Típicamente aceleradores lineales
Energías de 6 MV

Instituto Zunino
Fundación Mario Quiroz

Generadores de radiación cada vez más complejos

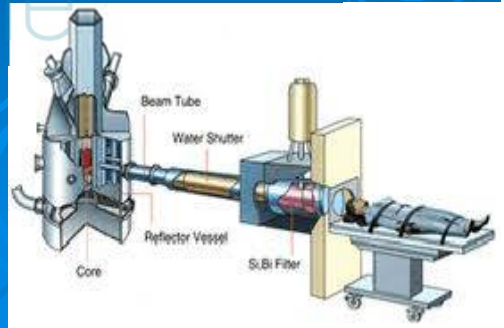
ANTES

AHORA

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Generadores de radiación cada vez más complejos

Rayos X,
pero
también
e-, p, n y
múltiples E



(Figure 2. A schematic diagram for BNCT application)

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

¿ Y qué otras fuentes de radiación se asocian a la radioterapia?

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Imágenes en RT convencional

Más generadores de radiación

TOMÓGRAFÍA

SIMULACIÓN

IMÁGENES PORTALES

Instituto Jano
Fundación Marie Curie

Imágenes para localización, planificación y verificación

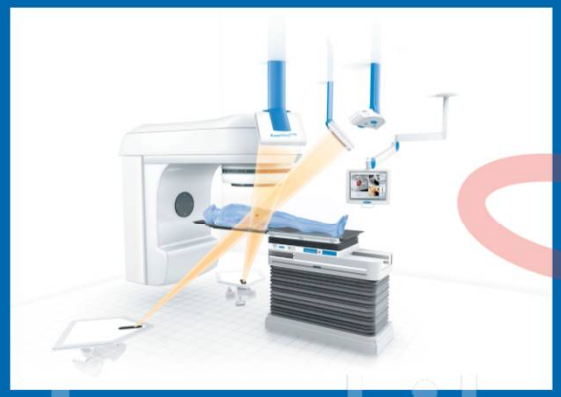
- Hasta fines de los ‘90 las imágenes asociadas a un tratamiento de RT se circunscribían a un estudio tomográfico para planificación, una o dos imágenes de simulación para setup y una o dos imágenes portales al comienzo de fracciones de tratamiento pre-seleccionadas.
- Se asumía que la anatomía expuesta del paciente toleraba errores de alineamiento del orden de 5 a 15 mm.

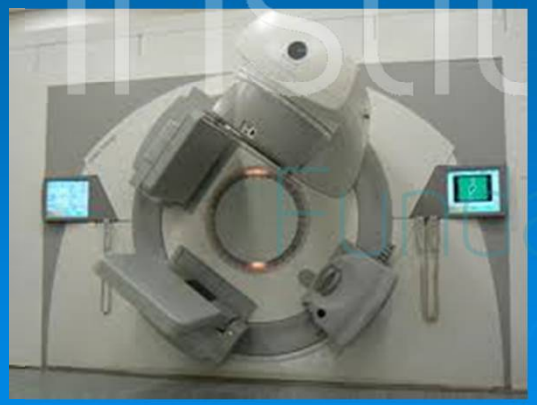
Imágenes en RT moderna

- El desarrollo de la RT conformada 3D, la IMRT y la radiocirugía sin marco estereotáxico han disminuido la tolerancia en los errores de alineamiento a unos pocos mm
- Como los blancos se mueven y deformen durante el tratamiento, la IGRT se ha introducido para lidiar con esos escenarios pero ha llevado a la necesidad de introducir múltiples procedimientos de imágenes para planificación, simulación, set up y monitoreo intra e inter-fracciones.

Instituto Zuloaga

Uso de imágenes en RT moderna: Un problema de radioprotección?





Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Imágenes en un tratamiento de IGRT

Un tratamiento complejo de IGRT puede incluir:

- Planificación con CT para contornear el blanco y las estructuras críticas. En ciertos casos fusión de imágenes con PET-CT
- 4D CT (o CT con correlación respiratoria) si los órganos se mueven con la respiración
- Simulación mediante CT virtual y DRRs
- Set up al comienzo de cada fracción con imágenes portales o in-room CT (convencional o cone-beam, kV o MV)
- Seguimiento intra-fracción del movimiento del blanco mediante imágenes radiográficas duales, fluoroscopia o imágenes portales con EPID en modo CINE.

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Múltiples Fuentes, Múltiples Exposiciones!

Y las dosis?

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Dosis Efectiva

- La magnitud que permite medir y comparar dosis de radiación en términos de su riesgo estocástico es la Dosis Efectiva E.

- E se mide en Sv y según la definición original de Jacobi (Radiat Environ Biophys 12, 1975) que resulta muy ilustrativa de su significado, es “la dosis absorbida media correspondiente a una irradiación uniforme de cuerpo entero que resulta en el mismo detrimento total por radiación que el correspondiente a una irradiación no uniforme a una parte del cuerpo”.

Instituto Zunino

Evaluación de dosis debidas a imagenología y comparación con dosis terapéuticas

- La dosis para la obtención de imágenes se entrega en formatos estándar
- La dosis terapéutica se entrega en muy variables escenarios específicos para cada paciente
- Al día de hoy todavía no se ha hecho mucho para calcular dosis efectivas en radioterapia
- Por lo tanto, aún no es posible hacer comparaciones cuantitativas precisas de dosis debida a imágenes frente a dosis en terapia

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Managing the imaging dose during image-guided radiation therapy
Martin J Murphy PhD
Department of Radiation Oncology
Virginia Commonwealth University
Richmond VA, 2015

Otro elemento a tener en cuenta en la comparación de dosis en exceso

Además de la dosis terapéutica primaria depositada en el volumen blanco, debe considerarse:

- Dosis primaria concomitante sobre el tejido normal
- Dosis secundaria concomitante debida a dispersión interna y externa, radiación de fuga del acelerador, etc.

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Managing the imaging dose during image-guided radiation therapy
Martin J Murphy PhD

Algunos escenarios genéricos de dosis efectiva en IGRT

- Tomografías pre-tratamiento para 30 fracciones: 60 – 400 mSv
- Dos pares de imágenes portales diarias con MV para 30 fracciones: 40 – 400 mSv
- Dos minutos diarios de fluoroscopia (kV) para 30 fracciones: 40 – 120 mSv

Managing the imaging dose during image-guided radiation therapy
Martin J Murphy PhD

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Ejemplos de incremento del riesgo estocástico por dosis debida a imágenes

(tomado de AAPM Publ. 95)

Ej 1

- Tratamiento rutinario de próstata en paciente de 70 años, incluyó:
- CT convencional fan beam para planificación (E1= 8.2 mSv)
- 30 pares de imágenes portales (diarias) a 2 UM c/u (1,3 mSV) E2 = 39 mSv
- E = E1 + E2 = 47.2 mSv
- Probabilidad de inducción de cáncer fatal por una exposición radiográfica única: 5×10^{-5}/mSv (ICRP 60)
- Incremento de riesgo debido a exposición 0,2 %. Despreciable

Instituto Zunino
Fundación Mario Zunino

Ejemplos de acumulación de dosis debida a imágenes (tomado de AAPM Publ. 95)

Ej 2

- Tratamiento de cáncer cervical en paciente femenina de 30 años, incluyó:
- 30 in room-CT (diarias) para localización y compensación por deformación de órganos (E = 30 x 8.2 mSv = 246 mSv)
- Probabilidad de inducción de cáncer fatal por una exposición radiográfica única: 5×10^{-5}/mSv (ICRP 60)
- Riesgo debido a exposición 1,2 %. No despreciable. Necesidad de optimización

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Una comparación de dosis efectiva debida a dispersion y fugas con dosis debida a imágenes

Tratamiento de cáncer de próstata con dosis total de 70 Gy

- Estimación de dosis efectiva debida a dispersión interna y externa y fugas : ***854 mSv***

- AA Cigna et al, Dose due to scattered radiation during external radiotherapy: a prostate cancer case history, Radiation Protection Dosimetry 108 (1): 27 - 32, 2004.

- 35 CT pélvicas diarias para IGRT : **350 mSv**

Managing the imaging dose during image-guided radiation therapy
Martin J Murphy PhD

Pensemos también en otros escenarios

Cuál será el riesgo en exceso de cáncer para un paciente de 20 años tratado con IGRT por una malformación arteriovenosa? Qué pasa con los pacientes pediátricos?

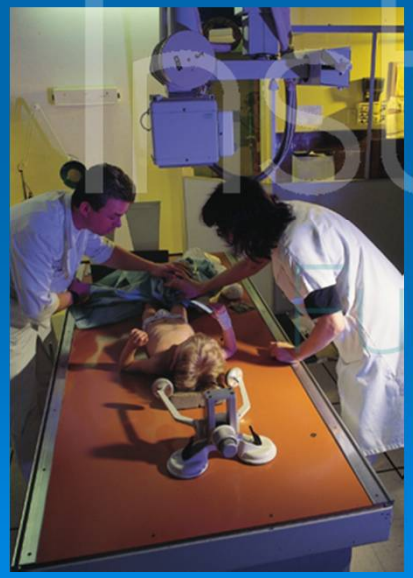
Y no olvidemos que…

Los pacientes de cáncer han sido expuestos a fuentes médicas antes de llegar al tratamiento y arrastran un historial de dosis.

La incidencia de la exposición médica

FUENTE: UNSCEAR 2010

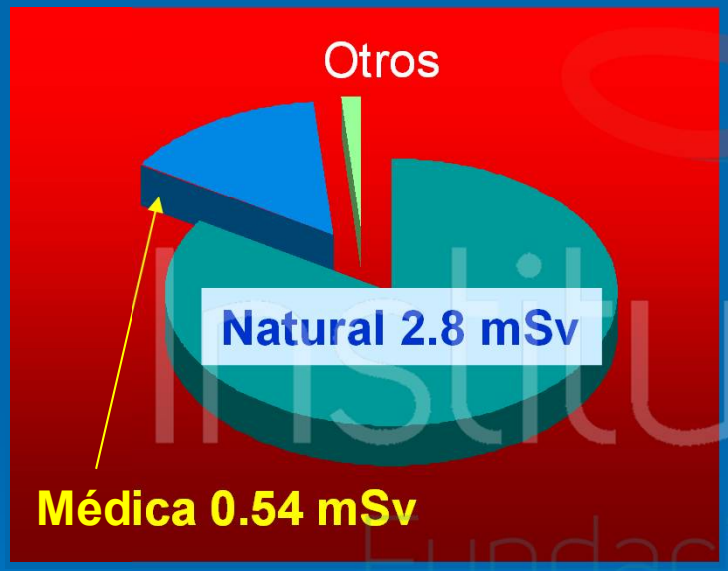
- 3600.000.000 procedimientos de diagnóstico con Rayos X al año
- 33.000.000 procedimientos de medicina nuclear diagnóstica
- 6.000.000 tratamientos de radioterapia



Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

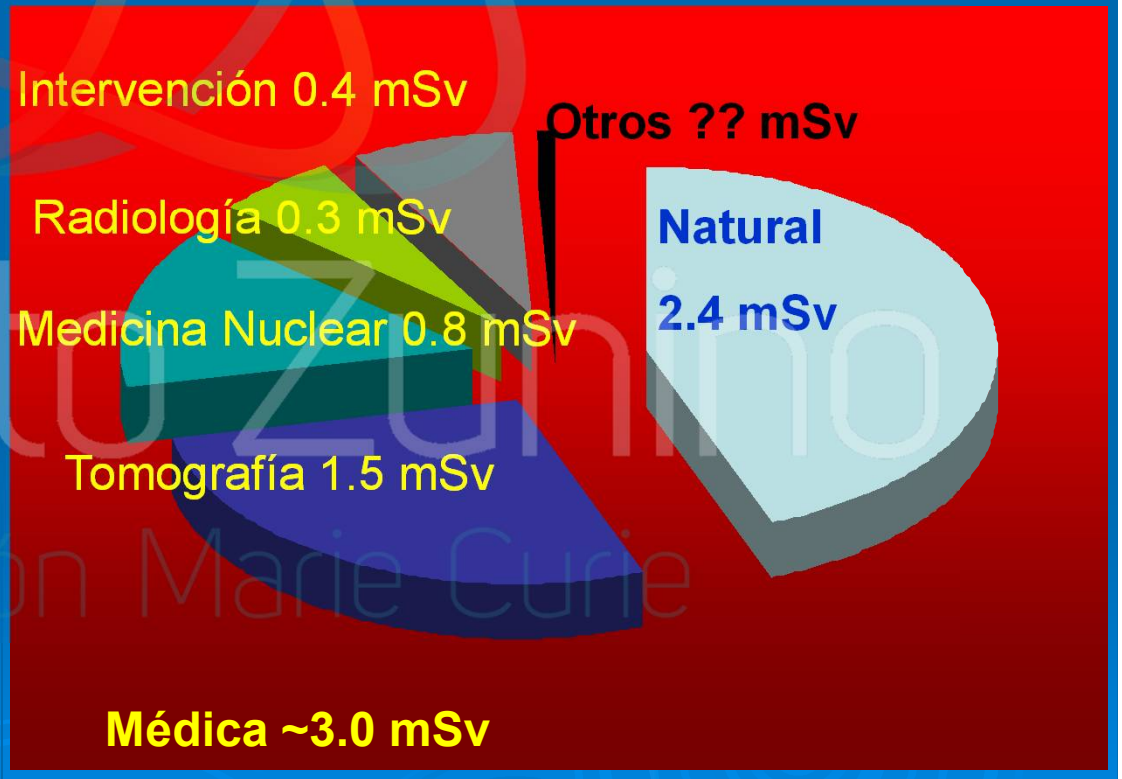
Contribución de la exposición médica a la dosis anual *per capita* en países desarrollados

80´s



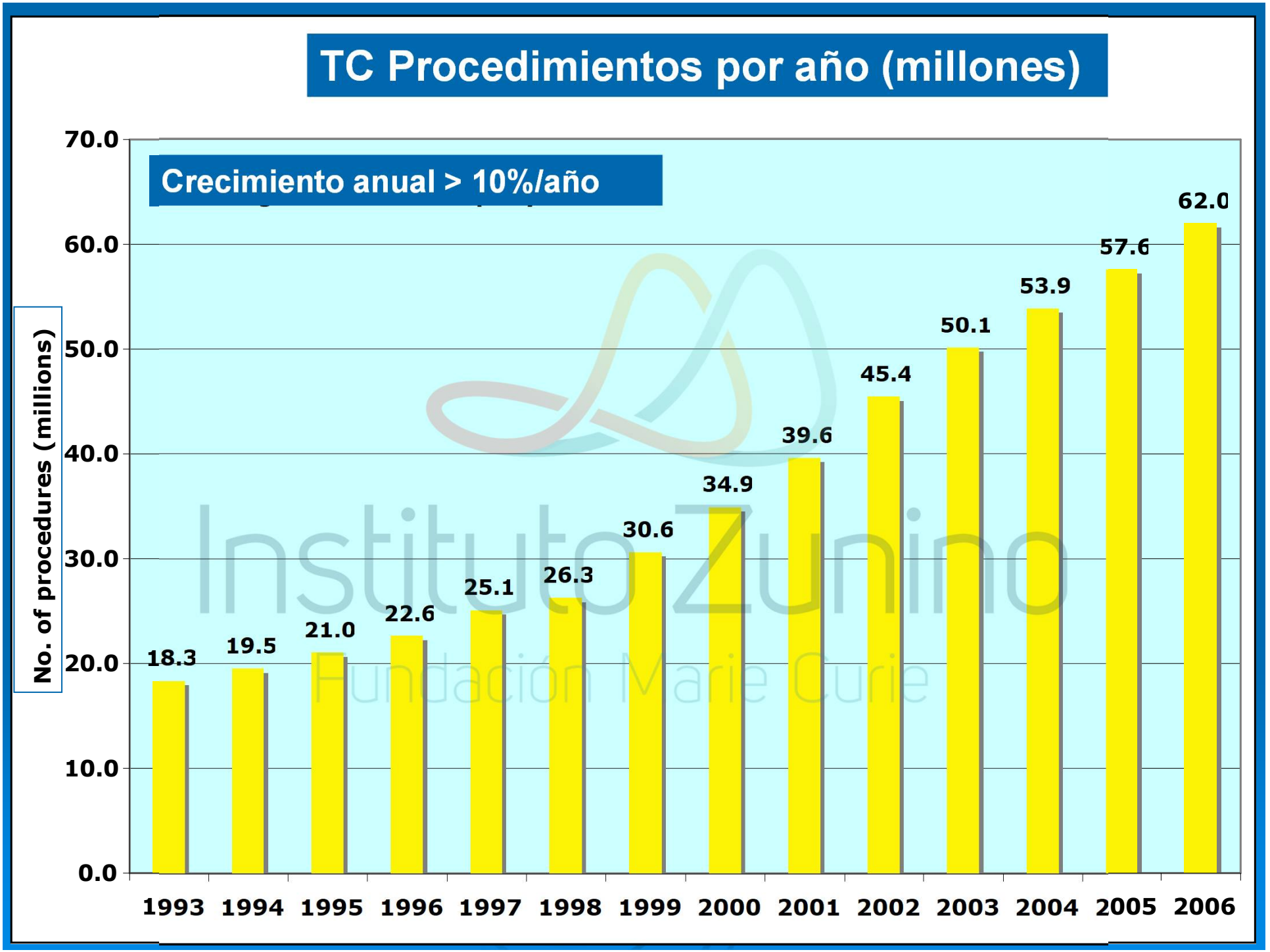
Total 3.6 mSv per capita
(15%)

2006



Total ~ 5.4 mSv per capita-
(55.5%)

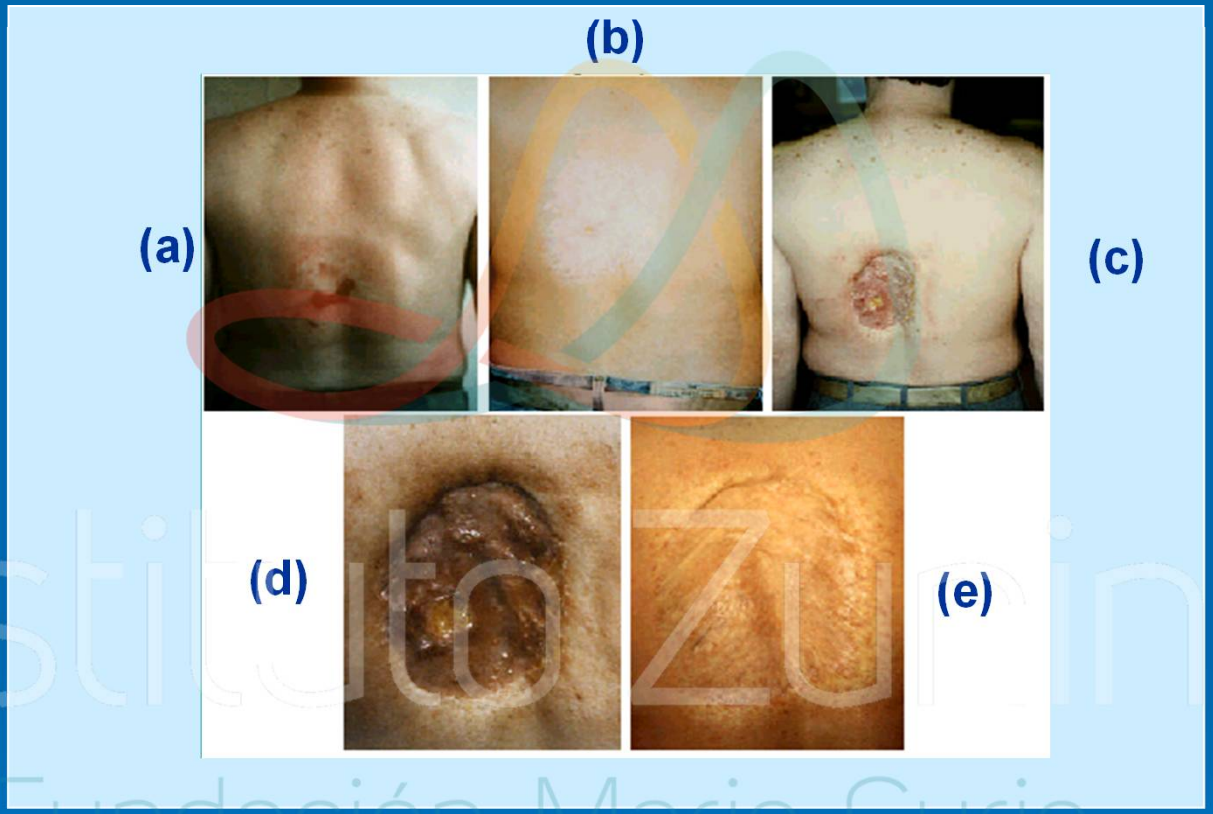
Instituto Zunino
Fundación Marie Curie


TC Procedimientos por año (millones)
Crecimiento anual > 10%/año
No. of procedures (millions)
70.0
60.0
50.0
40.0
30.0
20.0
10.0
0.0
18.3
19.5
21.0
22.6
25.1
26.3
30.6
34.9
39.6
45.4
50.1
53.9
57.6
62.0
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Procedimientos Intervencionistas (UNSCEAR)

TAC combinada con angiografía

Doble angioplastía coronaria en un día seguida de by-pass por complicación. Dosis ≈ 20 Gy (ICRP 85)



(a) 6-8 semanas después del procedimiento.
(b) 16-21 semanas después
(c) 18-21meses después mostrando necrosis de tejidos.
(d) Aproximación de la foto mostrada en (c).
(e) Después del injerto de piel. (Photografías courtesía deT. Shope & ICRP).

Instituto Zuppino
Fundación Marie Curie

¿Qué podemos recomendar a los médicos, respecto del uso de imágenes en IGRT?

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Algunos criterios

- **Mejora en las estimaciones de dosis efectiva:** Promover la evaluación de la dosis debida a imágenes en cada tratamiento a fin de estimar dicha dosis en su contexto y ayudar a crear una base para las comparaciones.
- **Optimización de la PR**: Introducir el concepto ALARA considerando el hecho de que el aumento de las imágenes implicará una reducción de las dosis al tejido sano pero a costo de un incremento en la dosis a todo el cuerpo debida a dichas imágenes.
- **Reducción de Dosis:** Eliminar las imágenes que no contribuyen a la información necesaria para el plan, el set up o el monitoreo del tratamiento y aceptar imágenes de menor calidad cuando la misma no sea relevante para la toma de decisiones.

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Otros temas de la clase de hoy

- Aspectos de calibración de fuentes
- Conceptos de seguridad física de fuentes

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

CALIBRACIÓN DE FUENTES Y EQUIPOS

- La calibración de equipos y fuentes de tratamiento es uno de los elementos esenciales en la optimización de la PR en las exposiciones médicas.
- Es responsabilidad del **físico médico** efectuar las calibraciones, pero lo es del **responsable primario** por la protección radiológica, el proveer los equipos o los mecanismos para que se lleve a cabo la calibración.
- Las calibraciones deben ser hechas en términos de magnitudes apropiadas usando protocolos aceptados internacional o nacionalmente;

CALIBRACIÓN DE FUENTES Y EQUIPOS

- Deben efectuarse en el momento de la puesta en marcha del equipo y antes de su uso clínico; luego de cualquier mantenimiento que pudiera afectar la dosimetría y a intervalos aprobados por la autoridad reguladora;
- Las calibraciones de las unidades de radioterapia externa deben estar sujetas a verificación independiente previamente a su uso clínico;
- Las calibraciones de los dosímetros usados para la calibración de equipos y fuentes deben ser trazables a laboratorios dosimétricos de referencia.

CALIBRACIÓN DE FUENTES DE BRAQUITERAPIA (recomendaciones internacionales)

- Idealmente cada fuente radiactiva que es implantada en un paciente, debería ser calibrada, pero en general no resulta posible por falta de equipos, personal y tiempo;
- No es poco común que una institución acepte los certificados de calibración del fabricante, pero debería ser responsabilidad de la institución verificar que estas calibraciones son correctas.
- Se recomienda que todas las fuentes de vida media larga estén calibradas. La trazabilidad por inferencia estadística puede ser apropiada para fuentes de corta vida media dependiendo de la cantidad de fuentes.

Instituto Zunino

CALIBRACIÓN DE FUENTES DE BRAQUITERAPIA (algunas recomendaciones internacionales)

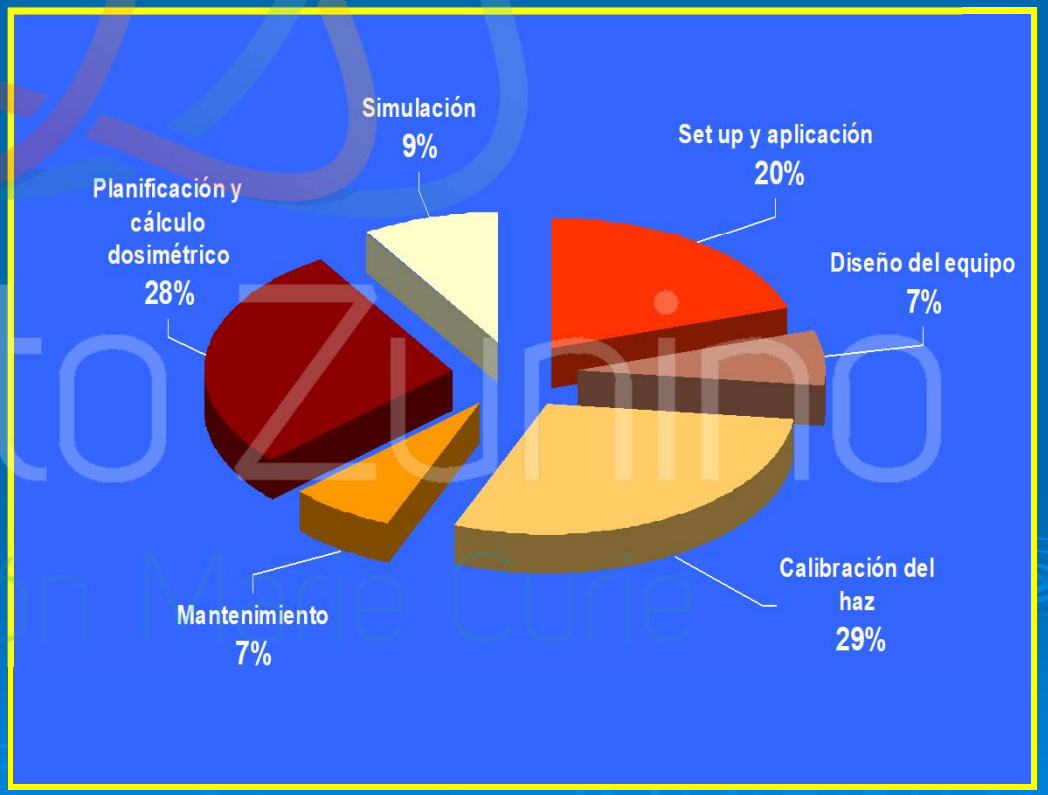
- Si el conjunto contiene pocas fuentes, se recomienda la calibración de todas y cada una de ellas. Para conjuntos grandes de fuentes similares, se recomienda calibrar una muestra aleatoria de al menos un 10% de la cantidad total de fuentes.
- En la última década ha crecido enormemente el número de fuentes de braquiterapia emisoras de fotones de baja energía (< 50 keV) y hay múltiples proveedores de fuentes encapsuladas de I-125, Pd-103 y Cs-131 con diferentes diseños que pueden influir sobre la respuesta de los equipos de medición.

Instituto Zunino

¿Qué podemos recomendar a los médicos sobre calibración?

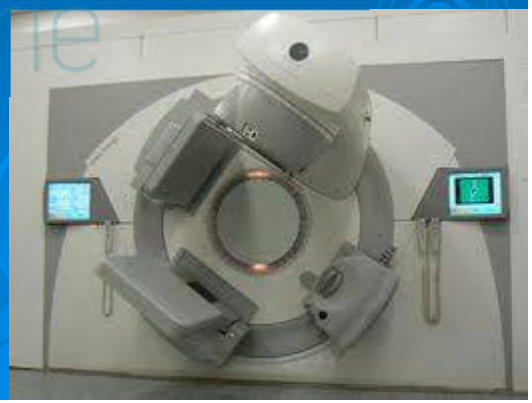
Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Atención a los errores de calibración como causa de accidentes en RT!!



Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Cada vez son más los equipos y fuentes a calibrar y controlar



Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

¡¡TÉNGANLES PACIENCIA!!

DENLES TIEMPO!

Conceptos de Seguridad Física de Fuentes

Su aplicación a fuentes de Radioterapia

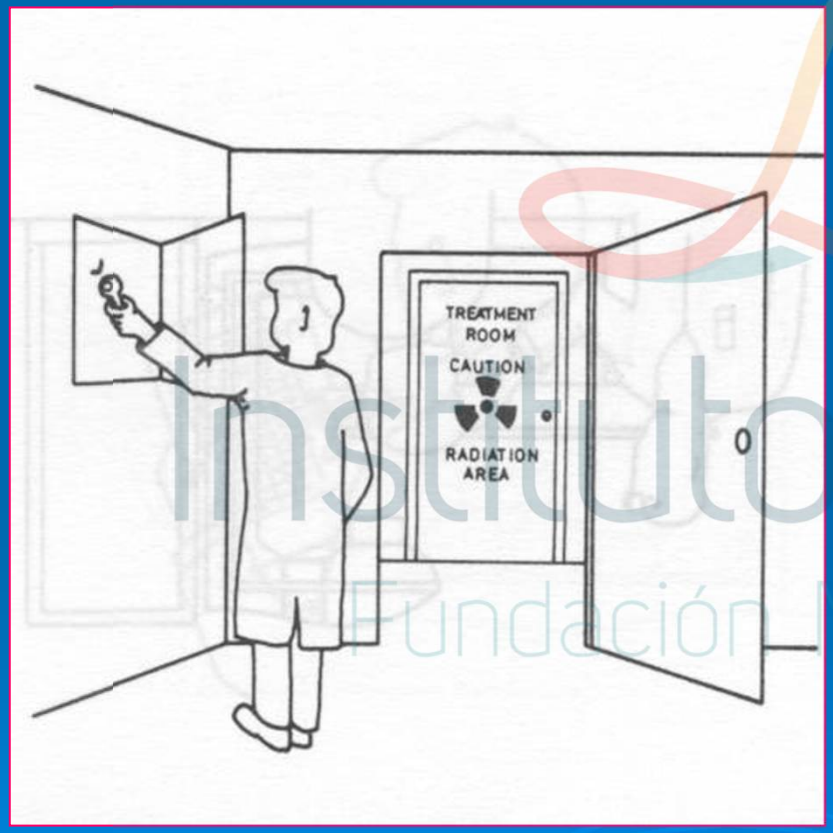
Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Seguridad Física de fuentes (concepto actual)

Según el glosario de la nueva Norma Básica Internacional del OIEA:

- Se denomina Seguridad Física (Nuclear Security) a *"La prevención y detección de, y respuesta a, robo, sabotaje, acceso no autorizado, transferencia ilegal u otros actos maliciosos que involucren material nuclear , otro material radiactivo o sus instalaciones asociadas".*

Aspectos generales de seguridad física



Todo el equipamiento que emplee fuentes radiactivas y los generadores de radiación deben permanecer bajo llave cuando no estén en uso

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Seguridad física de fuentes

- **Se aplicarán criterios de seguridad física en las etapas de:**
  - **Recepción de las fuentes**
  - **Almacenamiento**
  - **Manipulación**
  - **Uso en pacientes**
  - **Disposición**

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

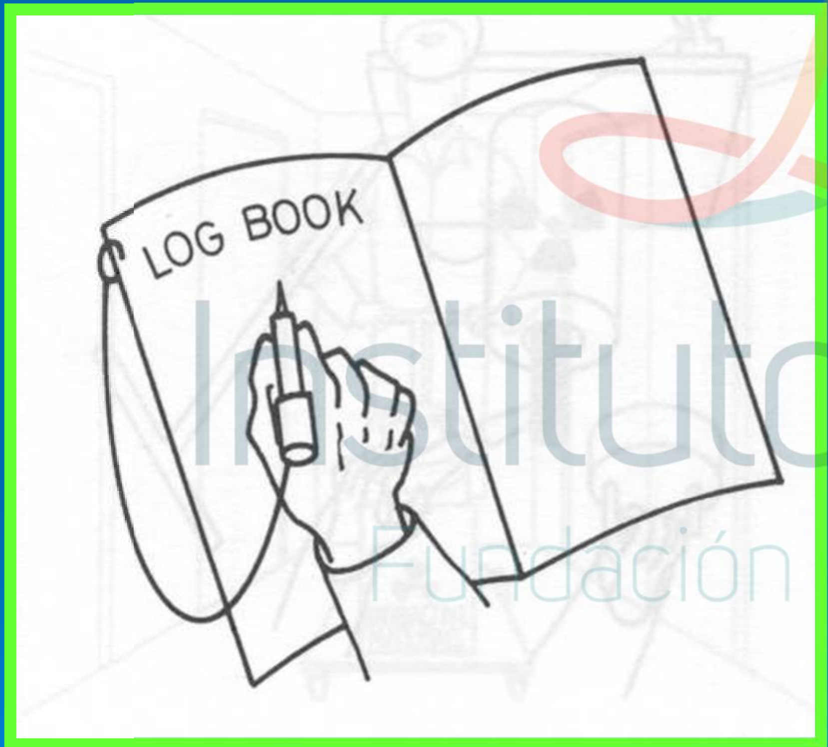
Almacenamiento de fuentes

Los recintos de almacenamiento deben:

- Proveer suficiente blindaje
- Tener señalización adecuada
- Tener mecanismos de cierre que impidan el acceso de personas no autorizadas
- Contar con protección contra incendios
- Destinarse sólo a material radiactivo
- Las fuentes deben estar bien organizadas por radionucleído, tipo y actividad

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Registro y Contabilidad de fuentes

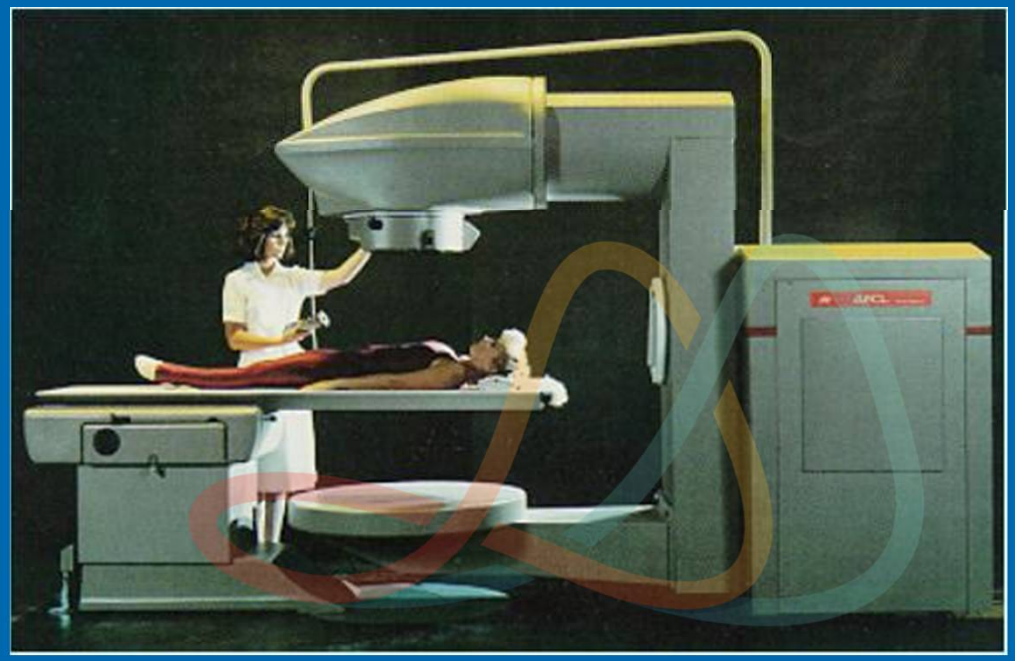


- Mantener un libro de movimiento de fuentes donde se registren la recepción, lugar de almacenamiento, situación de uso y movimienento de las fuentes.
- Realizar inventarios periódicos de las fuentes.

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

No deben transferirse fuentes, aún a personas autorizadas

Sin informar al organismo regulador!



Algunos conceptos de seguridad física de fuentes, con el enfoque que se le da actualmente, aplican a las fuentes radiactivas de uso en unidades de Co-60 e irradiadores de sangre con fuentes de Cs-137.

Norma nacionalde seguridad física de fuentes selladas (AR 10.13.2)

- La norma de seguridad física de fuentes selladas (AR 10.13.2) establece entre sus requisitos, que las fuentes antes mencionadas deben contar con medidas para:
  - La detección de ingresos no autorizados y accionamiento de alarmas de intrusión
  - La demora a la intrusión mediante guardias y barreras perimetrales
  - Mecanismos de respuesta ante señales de alarma.
- Además el titular de licencia debe designar un responsable por la SF

Por último…

- Una fuente perdida debe ser un suceso de la mayor consideración desde el punto de vista de la radioprotección.
- Son escenarios más comunes:
  - El alta de pacientes con implantes temporarios no removidos completamente.
  - Extravío de fuentes en el quirófano durante el implante de semillas.
  - Extravío o pérdida de control sobre fuentes en desuso
- Debe haber procedimientos de emergencia que contemplen estos escenarios

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Destino final de las fuentes

- La responsabilidad sobre una fuente sólo termina cuando la misma ha sido dispuesta de manera segura y su disposición ha sido documentada.

SEGUIMIENTO

Instituto Zuviría
Fundación Marie Curie

COMO RADIOPROTECCIONISTAS QUEREMOS IMPULSAR UN PENSAMIENTO QUE AYUDE AL DESARROLLO DE UNA CULTURA DE SEGURIDAD EN EL ÁMBITO DE LA RADIOTERAPIA

Diferentes visiones pero la SEGURIDAD como causa común

Instituto Zunino
Fundación Marie Curie

Safety
First
GRACIAS