



7° Curso de Actualización en Protección Radiológica para Médicos Radioterapeutas



**“Fuentes de radiación que intervienen en la
Radioterapia moderna. Caracterización y
aspectos de seguridad radiológica asociados.”**

Graciela R. Vélez

23, 24 y 25 de Octubre de 2019

AMA - Av. Santa Fe 1171 - Capital Federal



HISTORIA DE LA RADIOTERAPIA

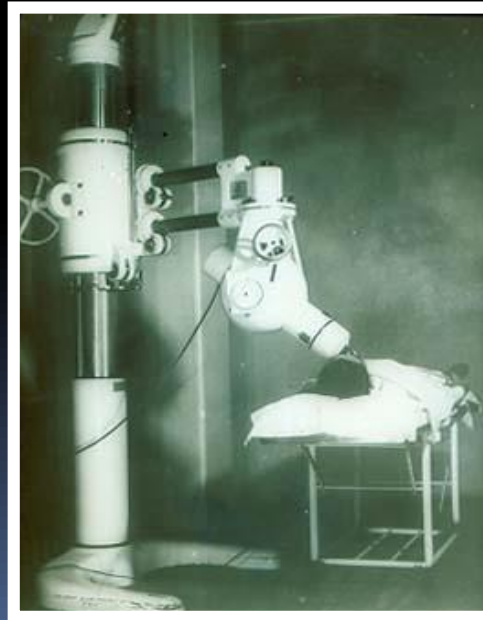
Madame CURIE



BRAQUITERAPIA: Tubos y Agujas de Ra-226



“Bomba” de Radio



“Bomba” de Cesio



RADIOTERAPIA

EXTERNA:

- Convencional.
- Cobaltoterapia.
- Acelerador Lineal.
- Nuevas tecnologías



TELETERAPIA
(TELE = Lejos)

BRAQUITERAPIA:

- Fuentes Radiactivas Encapsuladas.
- eBx (braquiterapia electrónica)



BRAQUITERAPIA
(BRAQUI = Cerca)

Equipamiento



Simulación

- RX
- Simulador
- TC
- RMI-US-PET

Teleterapia

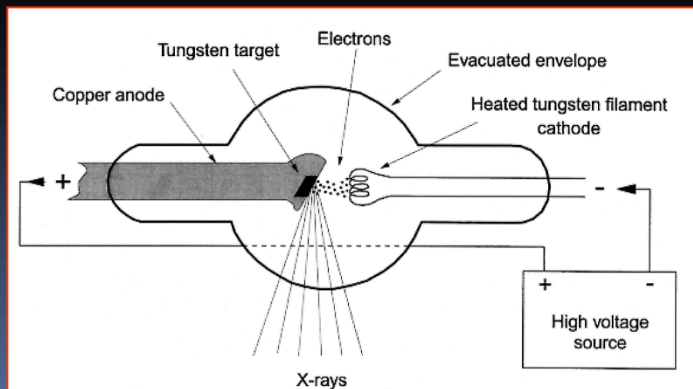
- Equipos Rx
- Unidad de ^{60}Co
- GammaKnife
- ALE
- APP

Braquiterapia

- Baja Tasa de Dosis
- Alta Tasa de Dosis

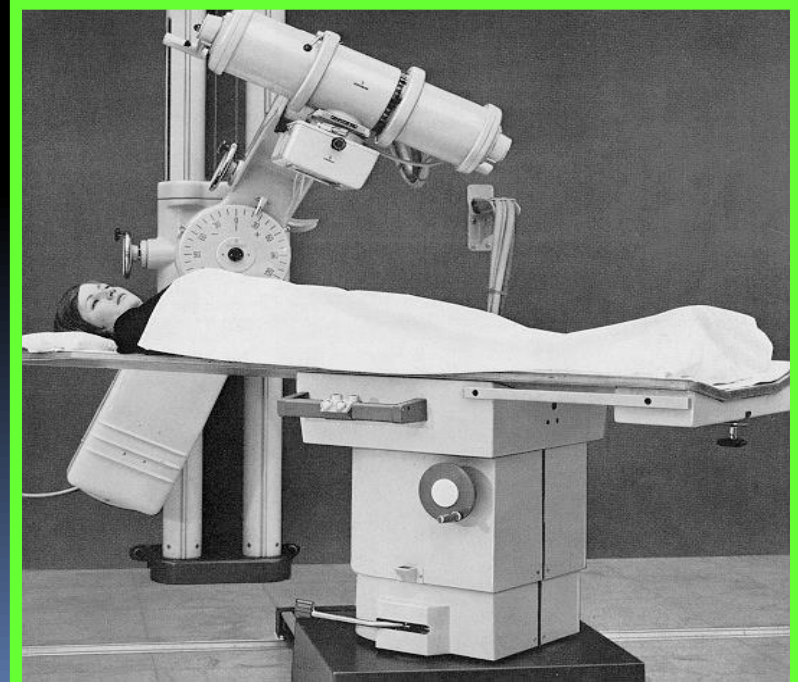
Equipos Superficiales y de Ortovoltage

- Tubos de rayos X “convencionales” con electrones acelerados por un campo eléctrico
- Anodo estacionario (en contraste con los tubos de diagnóstico que tienen ánodo rotatorio para permitir un tamaño de foco pequeño)
- Filtración importante



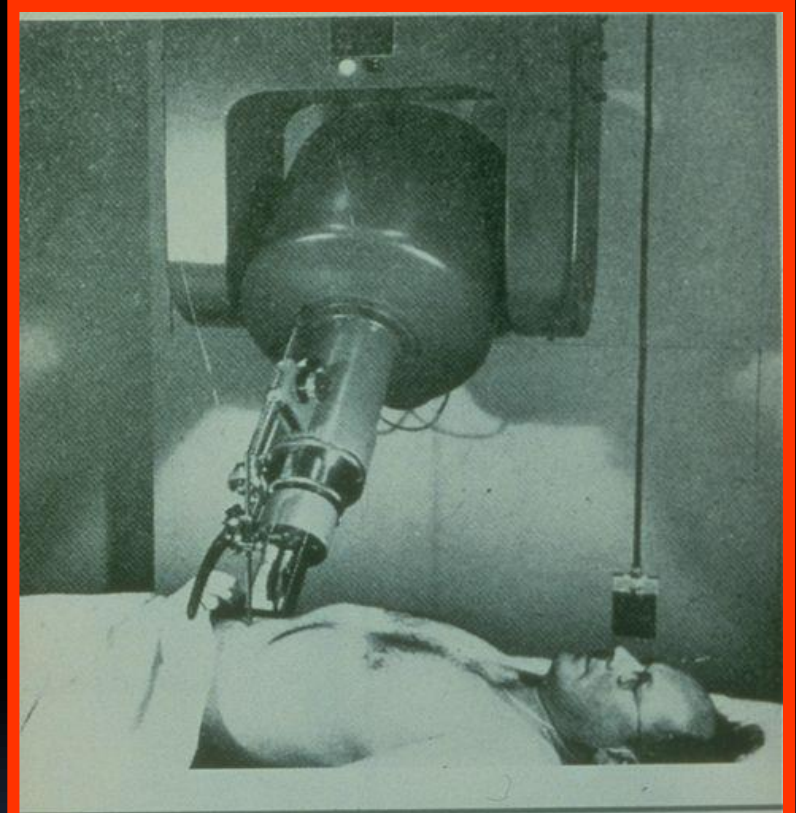
Unidades de Ortovoltaje

- 120 a 400kVp
- Tubos de rayos X convencionales
- Aplicaciones:
 - Lesiones de piel más profundas
 - Metástasis de huesos



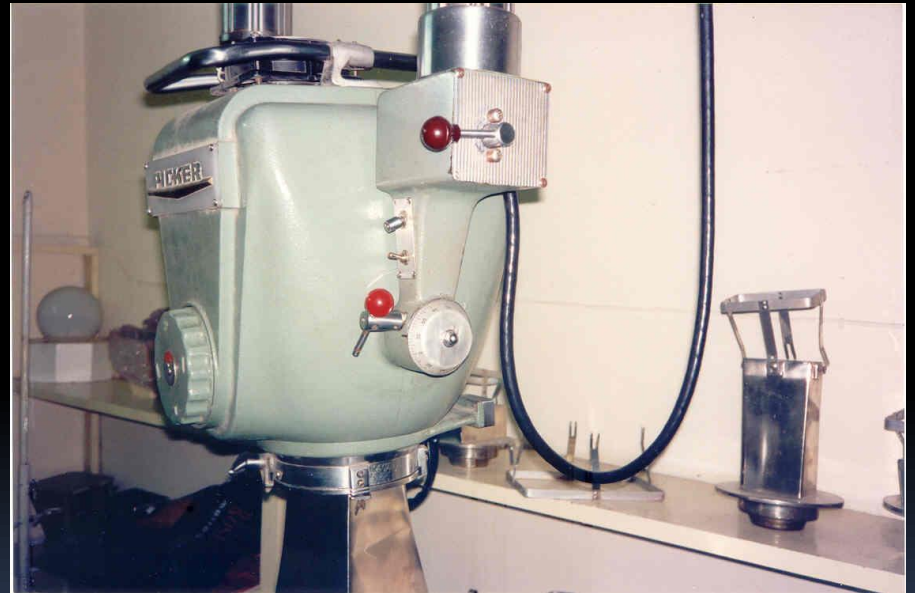
Unidades de Telecuriterapia

- Fuentes de actividad muy alta ($>1000\text{Ci}$)
- Casi todas son Co-60
- Algunas unidades viejas usaban Cs-137



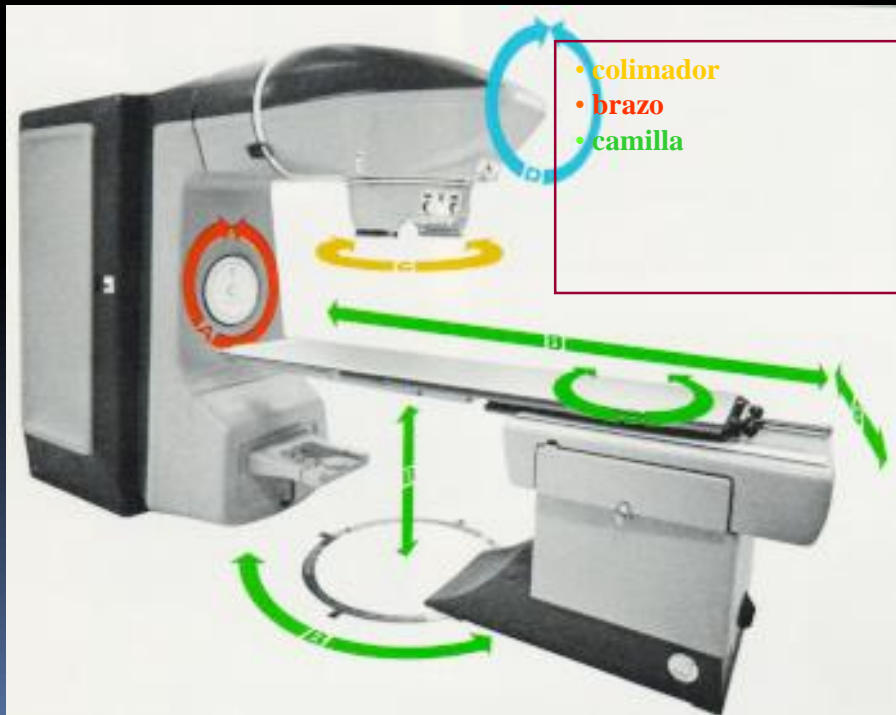
First cobalt-60 radiation therapy unit (1951).

“Bomba” de Cs-137 (Picker)



Equipo de Rayos Gamma- Co-60

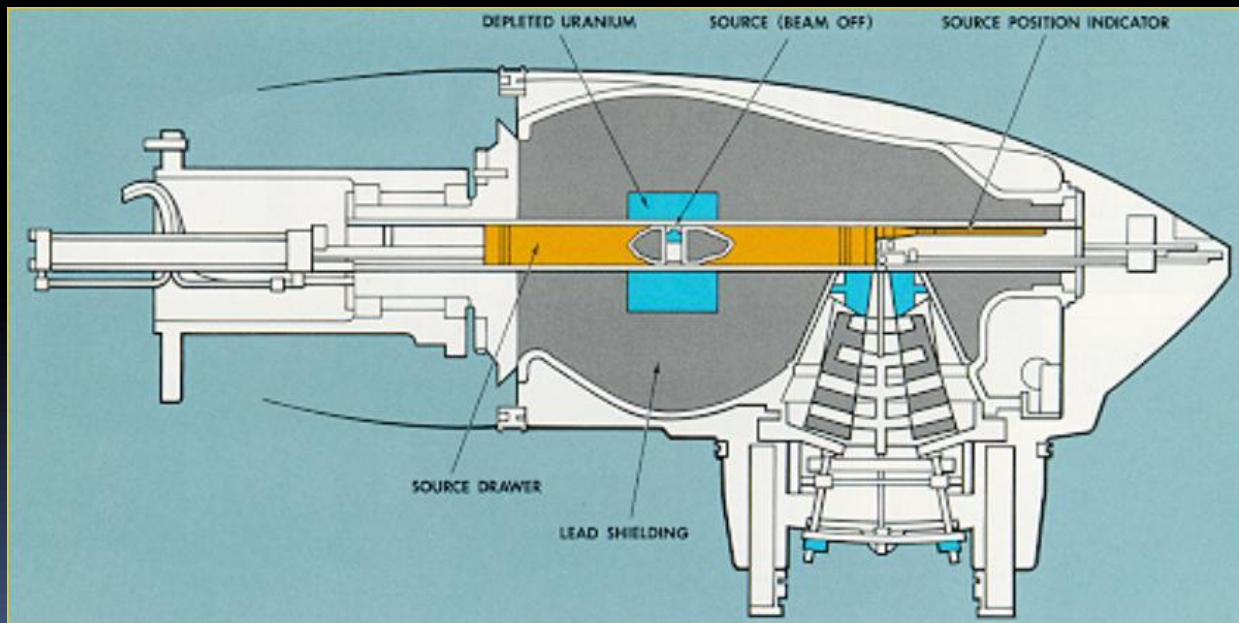
- Energía de fotones alrededor de 1.25MeV
- Actividad específica suficiente para FSD de 30cm o incluso 100cm
- Configuraciones isocéntricas de todos los componentes



Seguridad asociada:

- Control con temporizador dual
- Monitoreo del paciente
 - Vidrio plomado ("en la antigüedad")
 - Sistema de video
- El mecanismo de control del haz ha de ser de diseño de '**fallo seguro**'. Esto significa que la fuente volverá a la posición segura ('Off') en caso de:
 - Terminación de la exposición normal
 - Cualquier situación de avería
 - Interrupción del suministro eléctrico

- El mecanismo de control del haz ha de ser tal que debe resultar posible interrumpir la exposición por otros medios, por ejemplo, un sistema del retorno manual



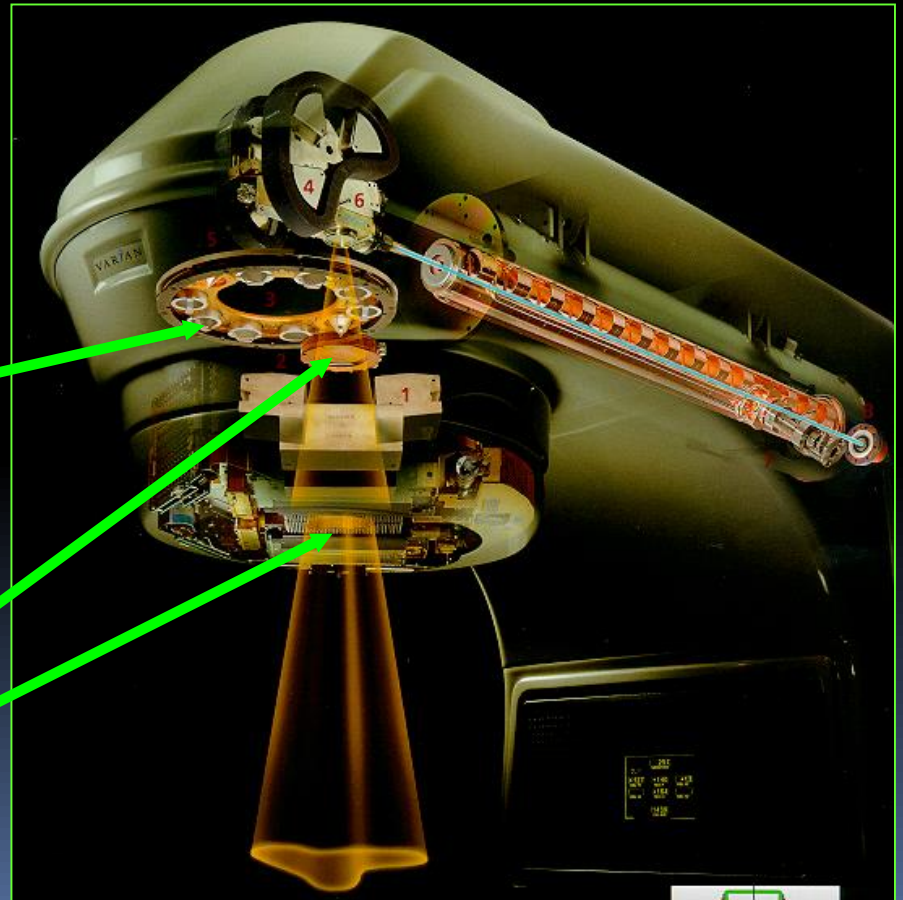
Seguridad asociada (cont.)

- **Fugas desde el cabezal con la fuente en posición segura ('Off')**
 - max. $10 \mu\text{Gy h}^{-1}$ a 1 metro de la fuente
 - max. $200 \mu\text{Gy h}^{-1}$ a 5 cm de la cubierta
- Estas pueden contribuir una porción significativa a la dosis máxima permisible para el personal

Aceleradores de electrones

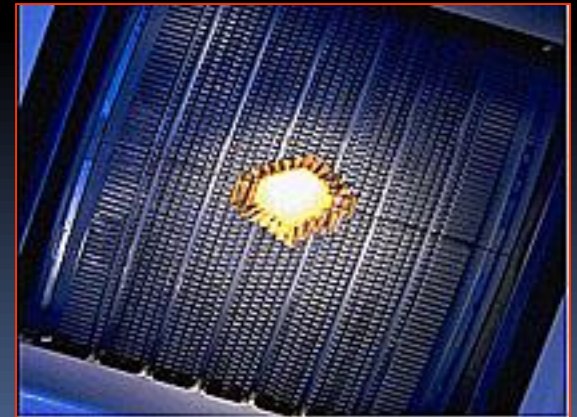
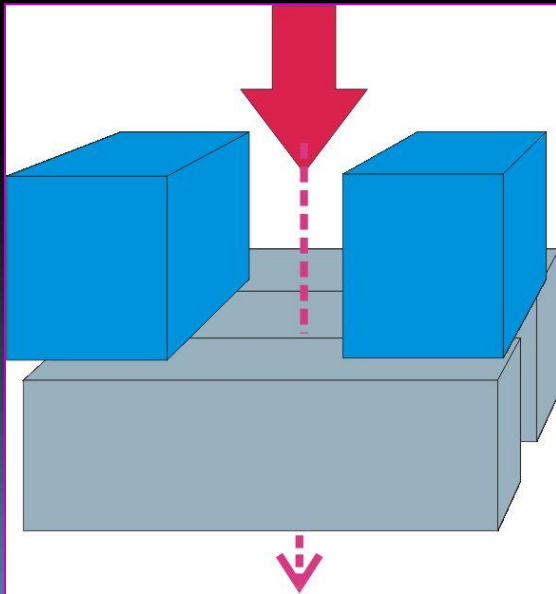
Complejidad del
cabezal para lidiar
con múltiples
energías y
modalidades

- Diferentes filtros aplanadores y láminas de dispersión en un 'carrusel' (Varian/ Elekta)
- Cámaras monitoras
- Colimadores



Aceleradores de electrones

- Los colimadores de rayos X pueden ser
 - Rectangulares (convencionales)
 - La transmisión a través de los colimadores debe ser menor del 2% del haz primario (abierto)
 - Colimadores Multi-Láminas (MLC)
 - La transmisión a través de los colimadores debe ser menor del 2% del haz primario (abierto)
 - La transmisión entre las láminas se debe verificar para garantizar que sea menor que la especificación del fabricante



Aceleradores de electrones

- Aplicadores de electrones: éstos pueden ser
 - De lados abiertos; en el caso de los aplicadores modernos que emplean láminas de dispersión dobles o haces escaneados
 - Encerrados; en el caso de los aceleradores viejos que emplean láminas de dispersión sencillas



lados abiertos

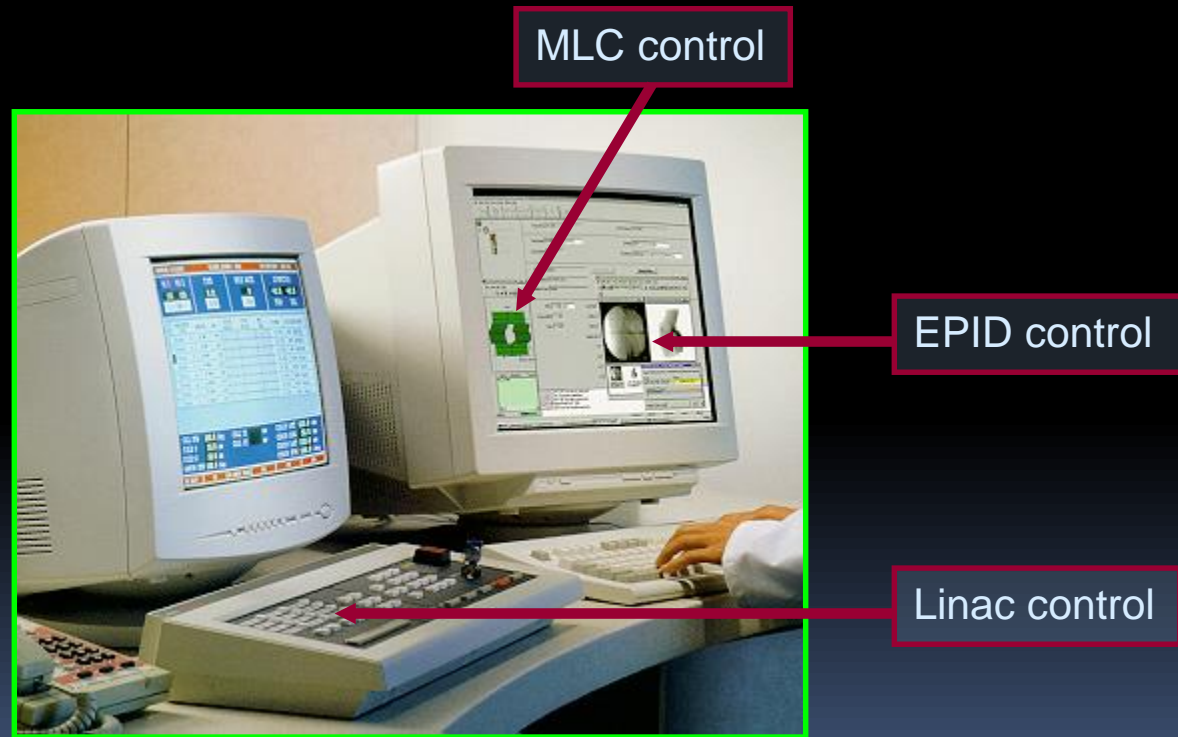
Imagen electrónica portal



Comparación de imágenes: de simulador o DRR y EPID

Aceleradores de electrones

- Sistema de mando complejo
- Dependencia de las computadoras

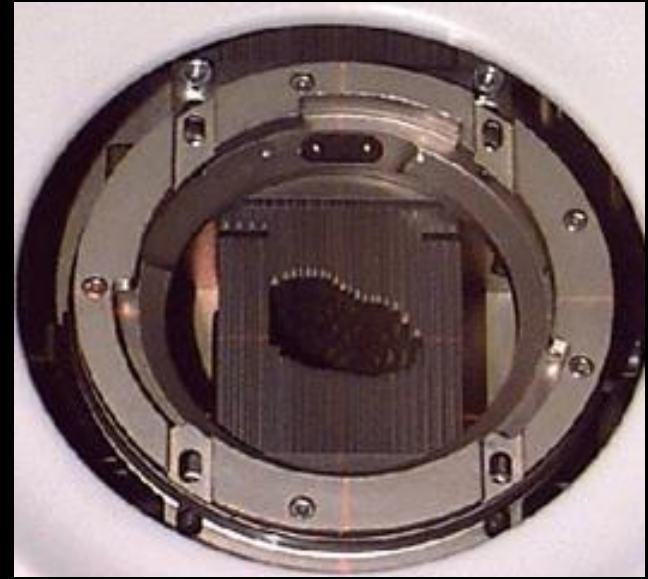


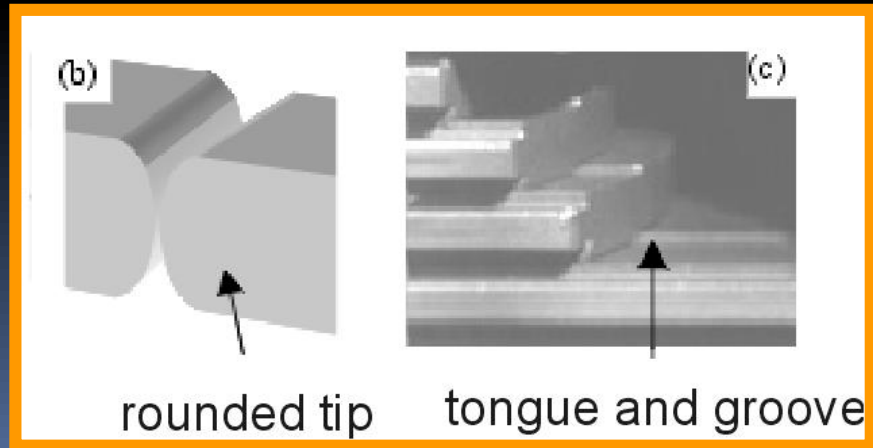
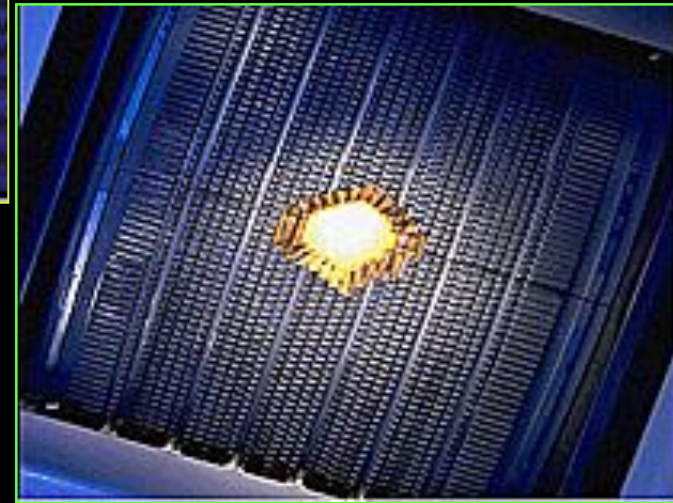
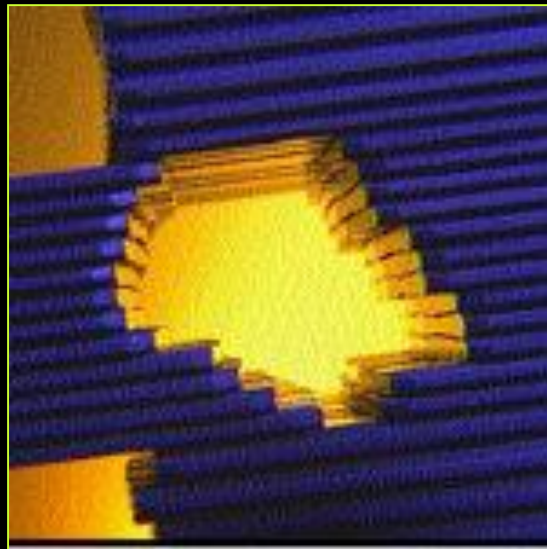
Aceleradores de electrones

- Fugas por el cabezal
 - La Tasa de Kerma en Aire (TKA) de la radiación de fuga en cualquier punto dentro de un área plana circular de radio 2 metros centrada en y perpendicular al eje central del haz no ha de exceder 0.2% de AKR en el eje central del haz abierto.
 - La TKA debido a la radiación de fuga (excluyendo neutrones) en cualquier punto a 1 metro de la trayectoria de los electrones entre el origen de éstos y el blanco, o ventana de electrones; no ha de exceder 0.5%

Aceleradores de electrones

- Neutrones
 - Éstos constituirán un problema solo si la energía de los rayos X es igual a, o mayor que, 15 MV
 - Los aspectos que resulta necesario considerar ante la presencia de neutrones incluyen:
 - Activación de los neutrones
 - Problemas del blindaje





Nota sobre la Ventilación

- Se debe revisar para aceleradores de alta energía > 15 MeV
- Puede haber una acumulación de ozono que favorezca la presencia de Oxígeno-15 y Nitrógeno-13 radiactivos
- 6-10 cambios total de aire por hora o mayor

BRAQUITERAPIA

- INTRACAVITARIA
 - Tubos
- INTERSTICIAL
 - Agujas
 - Alambres
 - Semillas
- SUPERFICIAL

BRAQUITERAPIA ELECTRONICA

ELECTRONIC BRACHYTHERAPY

X-ray source is
~ 2 mm diameter
Placed in flexible water-
cooled catheter of
~ 5 mm diameter
Tube voltages from
40 kV to 50 kV
Air kerma rates
comparable to 370 GBq
(10 Ci) HDR 192Ir

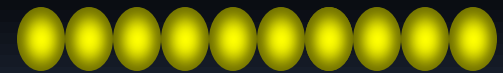


ISOTOPOS ENCAPSULADOS

Ra 226, Co 60, Ir 192, Cs 137,
I 125, Pd 103



Ru 106, P 32, Sr 89, Sr 90, Y 90

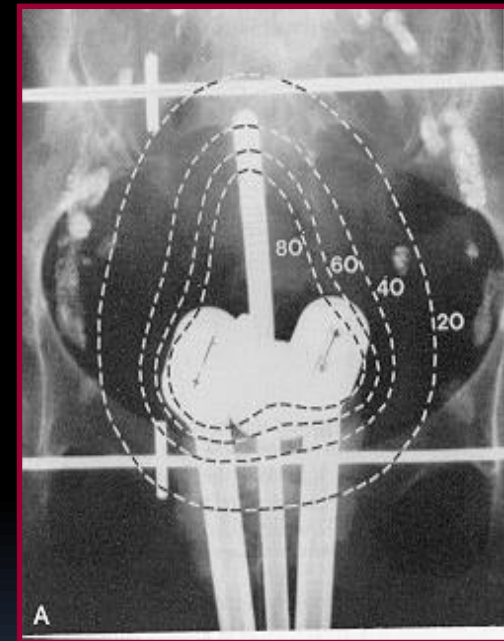


Braquiterapia

La braquiterapia emplea fuentes radiactivas encapsuladas para entregar una alta dosis a los tejidos cercanos a la fuente



Implante de mama usando alambre radioactivo de Ir-192



Rayos X de un implante ginecológico que emplea un aplicador cargado con fuentes de Cs-137

Modos de administración – se emplean diferentes clasificaciones

Baja tasa de dosis	<1Gy/hora aprox. 0.5Gy/hora
Mediana tasa de dosis	> 1Gy/hora no muy usado
Alta tasa de dosis	>10Gy/hora
Tasa de dosis pulsante	pulsos de aprox. 1Gy/hora

Braquiterapia

Carga diferida

Manual

- Las fuentes se colocan manualmente.
- Las fuentes son retiradas sólo al final del tratamiento

Remota

- Las fuentes se dirigen desde un medio seguro hacia dentro del implante usando una máquina ("carga remota")
- Las fuentes se retiran cada vez que alguien entra a la habitación

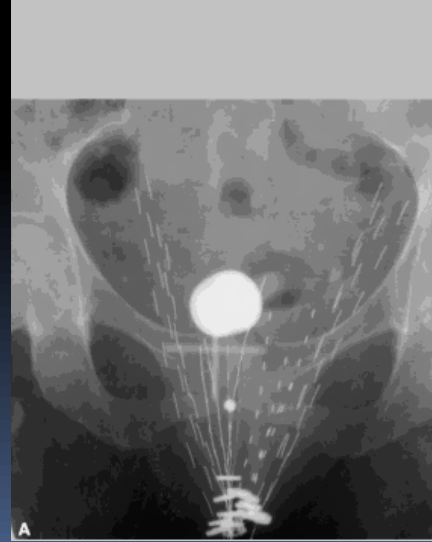
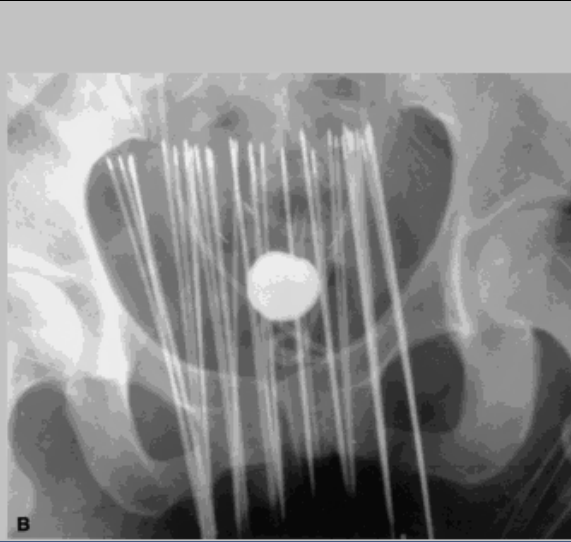
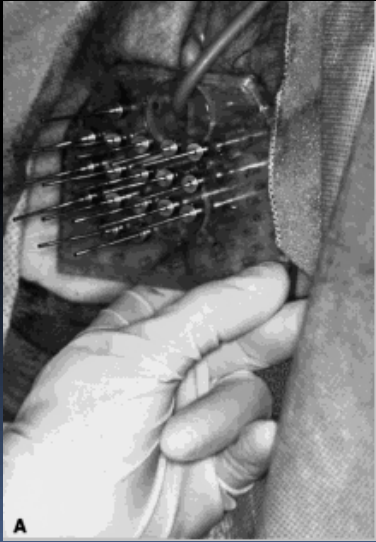


Fuentes de braquiterapia

Radionucleido	T_{1/2}	Energía de los Fotones (MeV)	HVL (mm Plomo)
Ra-226	1600 a	0.047 – 2.45 (0.83 prom)	8.0
Rn-222	3.83 d	0.047 – 2.45 (0.83 prom)	8.0
Co-60	5.26 a	1.17, 1.33	11.0
Cs-137	30.0 a	0.662	5.5
Ir-192	74.2 d	0.136 – 1.06 (0.38 prom)	2.5
Au-198	2.7d	0.412	2.5
I-125	60.2 d	0.028 prom	0.025
Pd-103	17.0 d	0.021 prom	0.008

- CARGA DIRECTA
- CARGA DIFERIDA MANUAL
- CARGA DIFERIDA REMOTA





APPLICATOR MODELS FOR CERVICAL CA.



MANCHESTER



FLETCHER-SUIT



TANDEM-RING



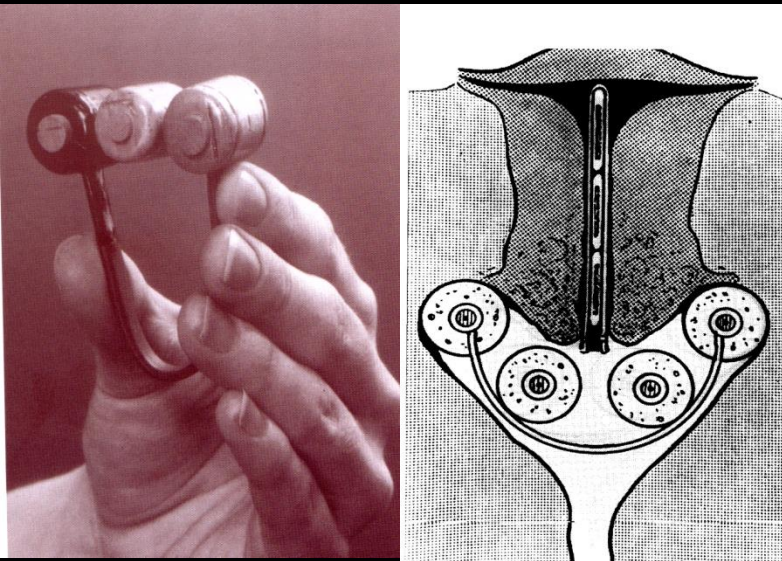
VIENNA AKH



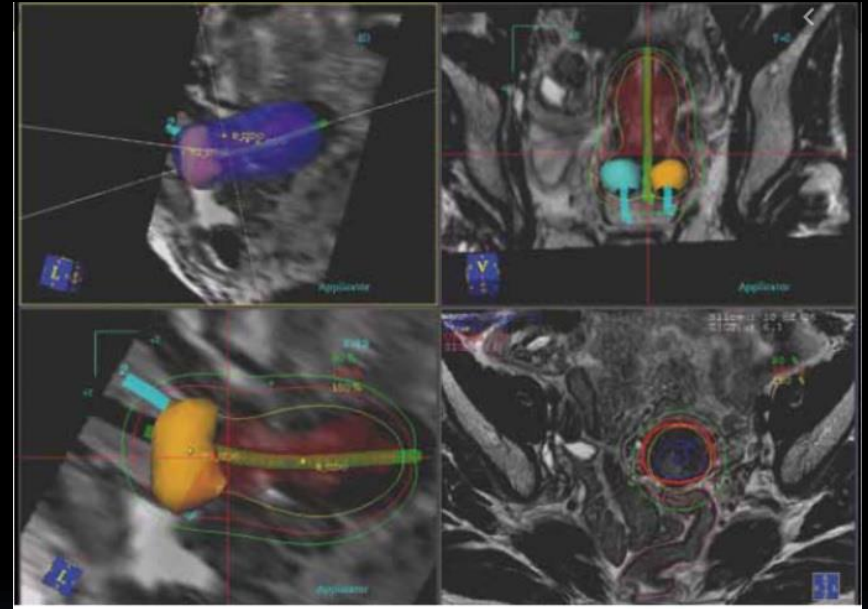
TANDEM-RING

CT/MR
COMPATIBLE

EVOLUCIÓN DE LA BRAQUITERAPIA GINECOLOGICA



1950/60



HOY (3D – IRM)

Equipos de Braquiterapia HDR

- Microselectron (Nucletron). 18 – 30 canales
- Flexitron (Elekta) 3 – 10 – 20 – 30 canales
- GammaMed (MDS Nordion). 24 canales
- Varisource (Varian). 20 canales
 - Fuente única de Ir-192 de aprox. 10 Ci
 - Long. de 3 a 5 mm
 - Dia. de 0.5 a 1.2 mm
- MultiSource (Bebig) – 20-24 canales ^{60}Co
- SagiNova (Bebig)
- Braquiterapia electrónica (eBx) – Axxent/Xoft (50kV)

Equipos de Braquiterapia HDR

Microselectron



Equipos de Braquiterapia HDR

Gammamed

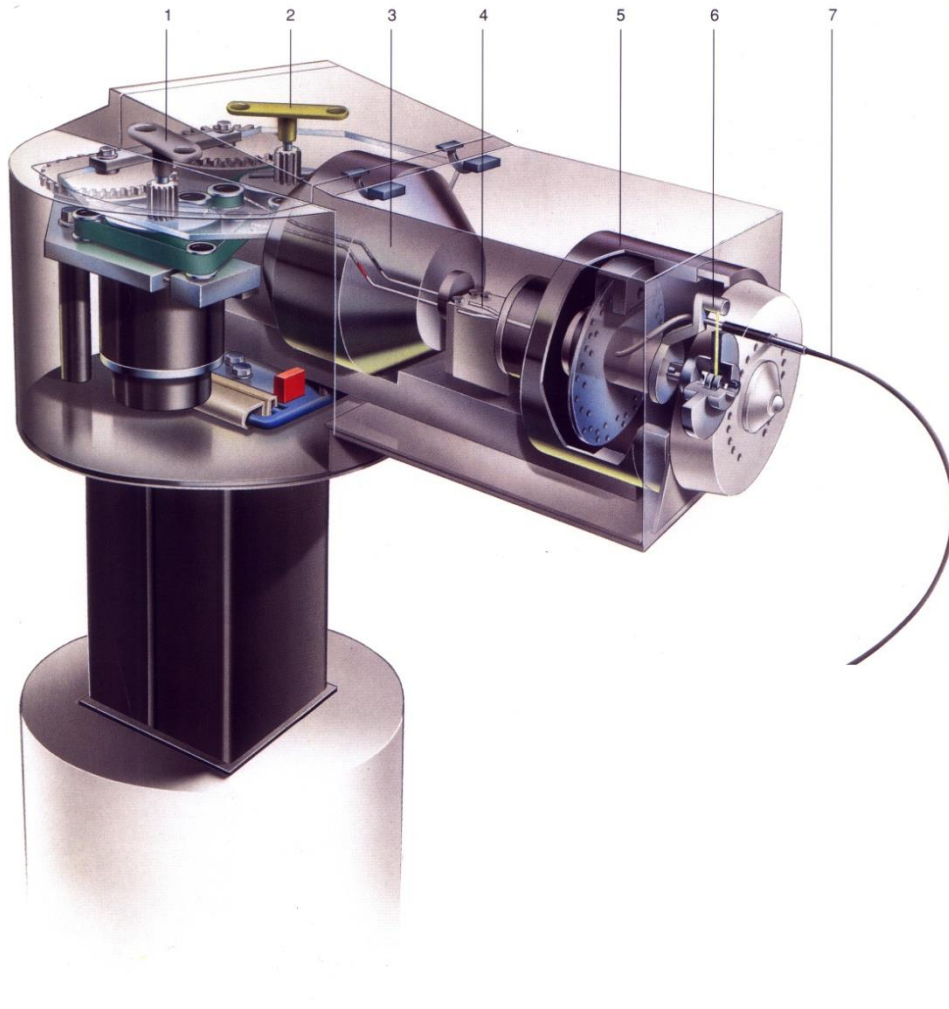


Equipos de Braquiterapia HDR

Varisource



1. Check cable drive
2. Source cable drive
3. Safe
4. Automatic calibration
5. Indexer
6. Optical verification of applicator connection
7. Small diameter transparent flexible catheter

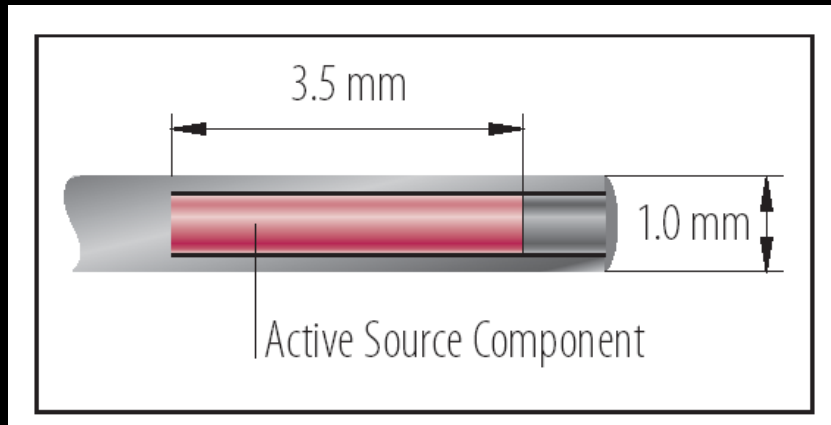


1. Cable de chequeo.
2. Cable de la fuente.
3. Seguridad.
4. Calibración automática.
5. Indexador.
6. Verificación óptica de conexiones del aplicador.
7. Cateter flexible de menor diámetro .

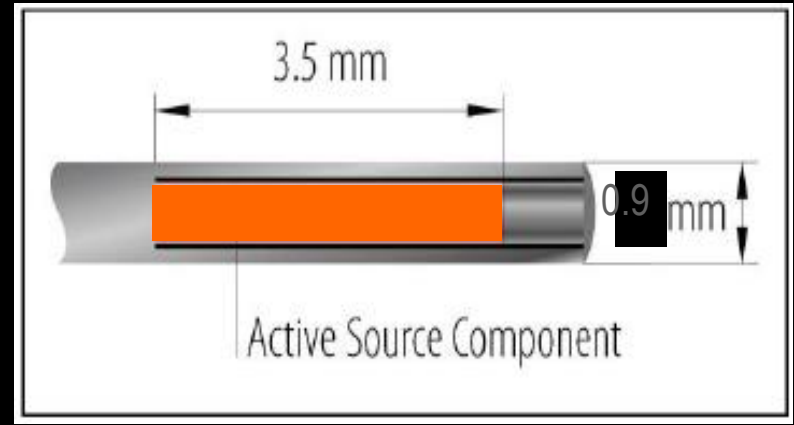
MULTISOURCE - Bebig



Fuente de Co-60 “miniatura”



BEBIG Co-60 Source



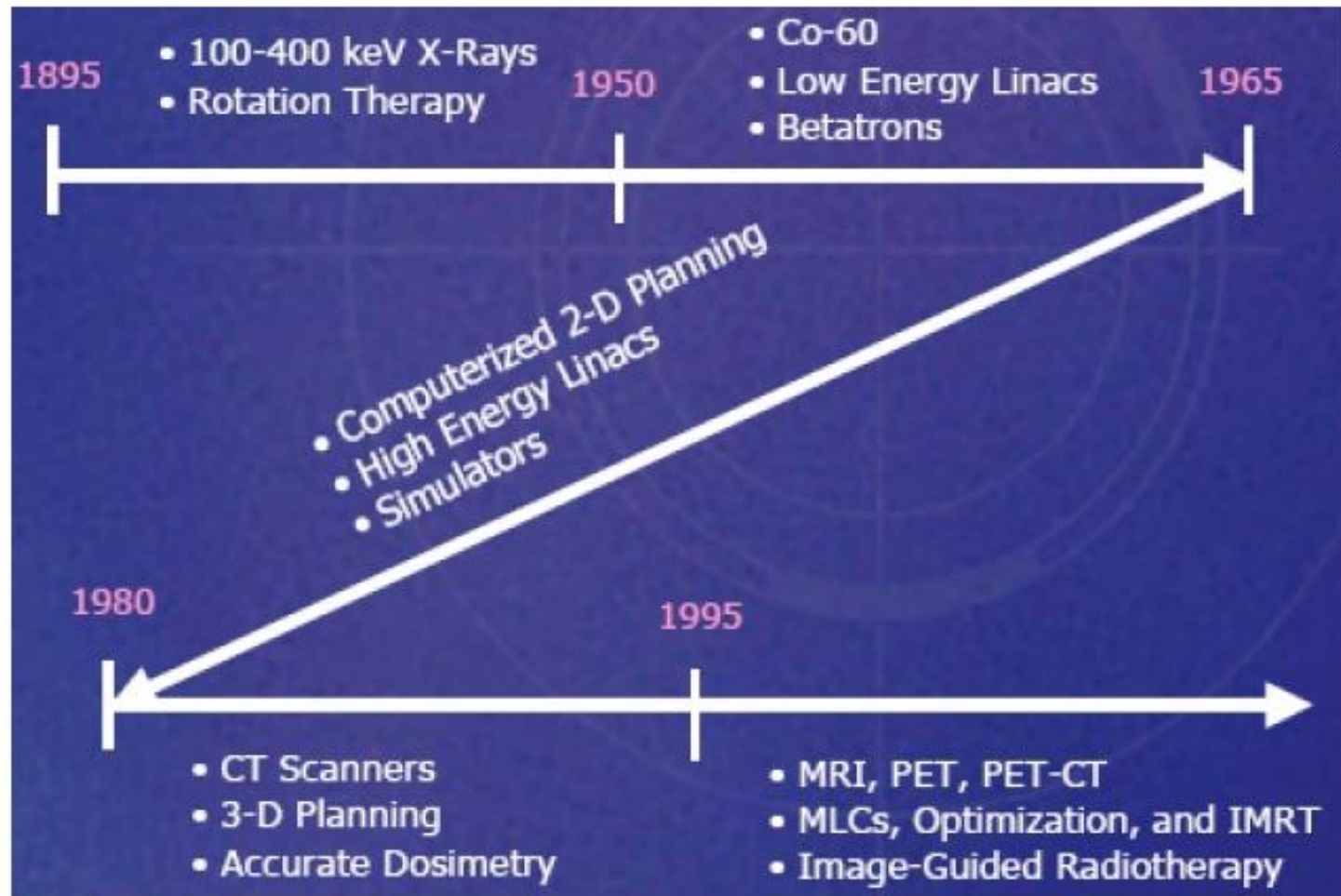
BEBIG Ir-192 Source

Propiedades físicas

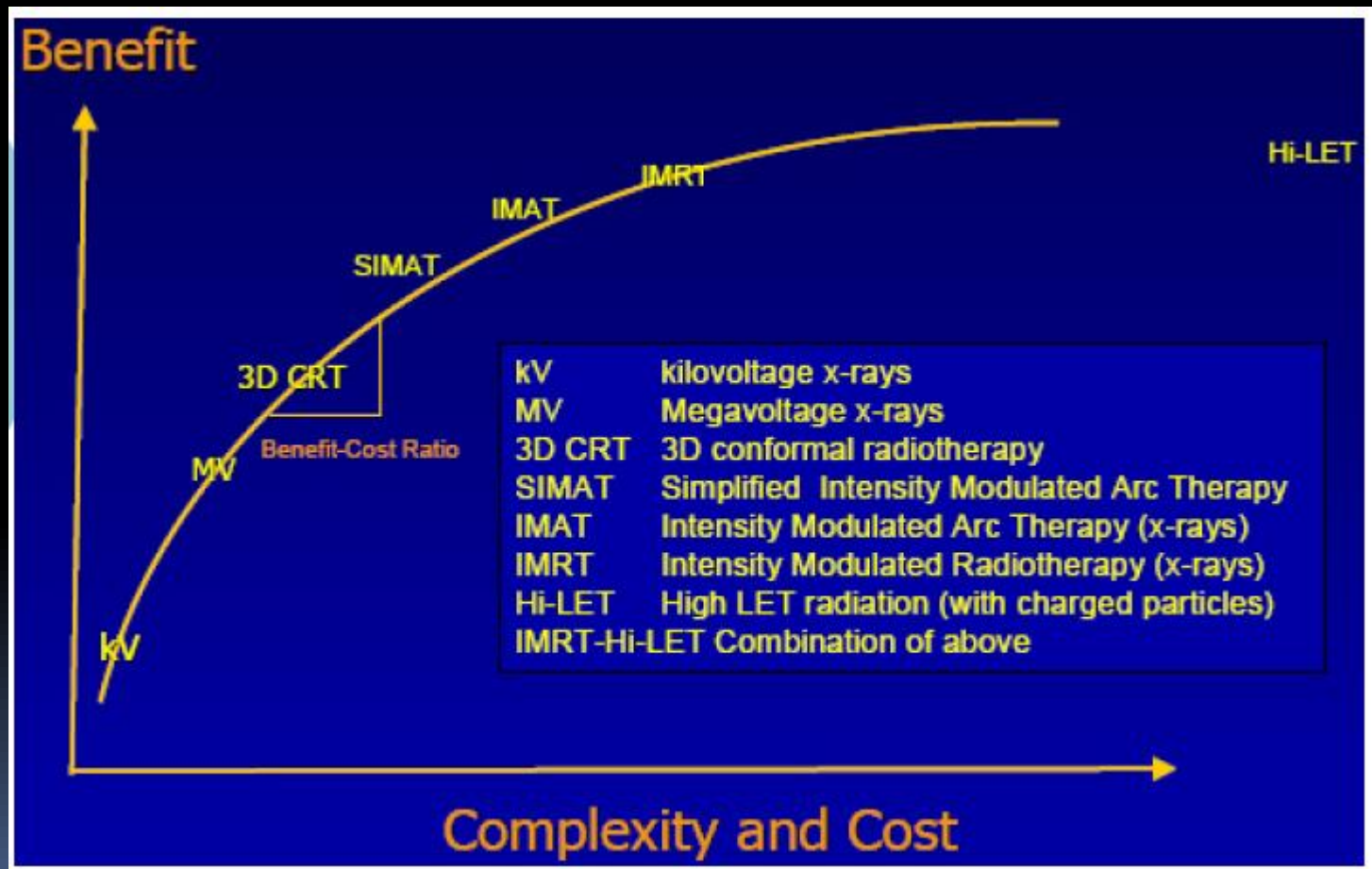
Isotope	$T_{1/2}$	E_{γ} [MeV]	A [GBq]	Γ $\frac{\text{mGy m}^2}{\text{h GBq}}$	$\text{TVL}_{\text{concrete}}$
Ir192	73,8 d	0,347	370	0,108	23 cm
Co60	5,27 a	1,253	80	0,306	27 cm

80 GBq Co-60 \cong 227 GBq Ir-192

LÍNEA HISTÓRICA DE LA RADIOTERAPIA

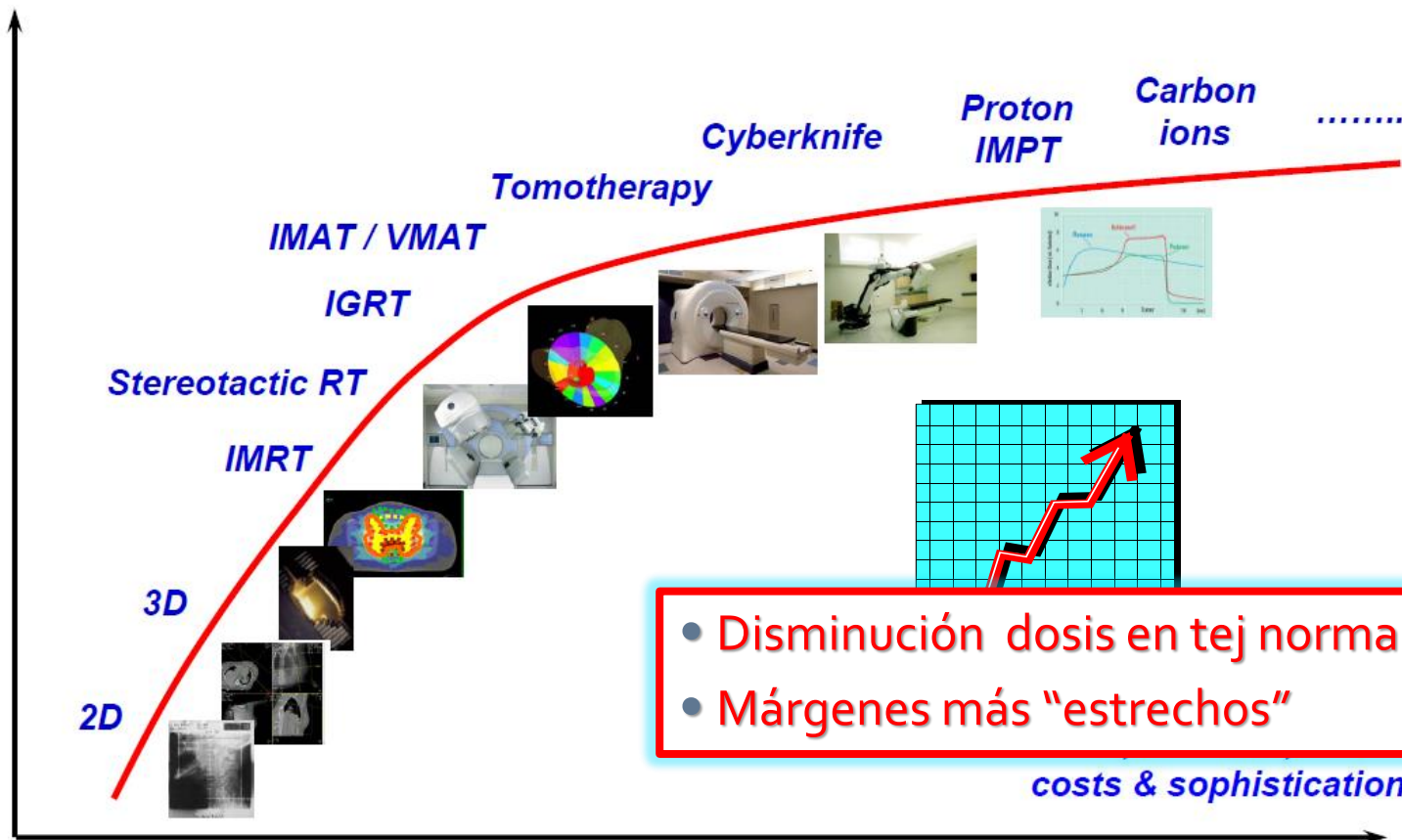


EVOLUCIÓN DE LA RADIOTERAPIA CON EL AVANCE TECNOLÓGICO

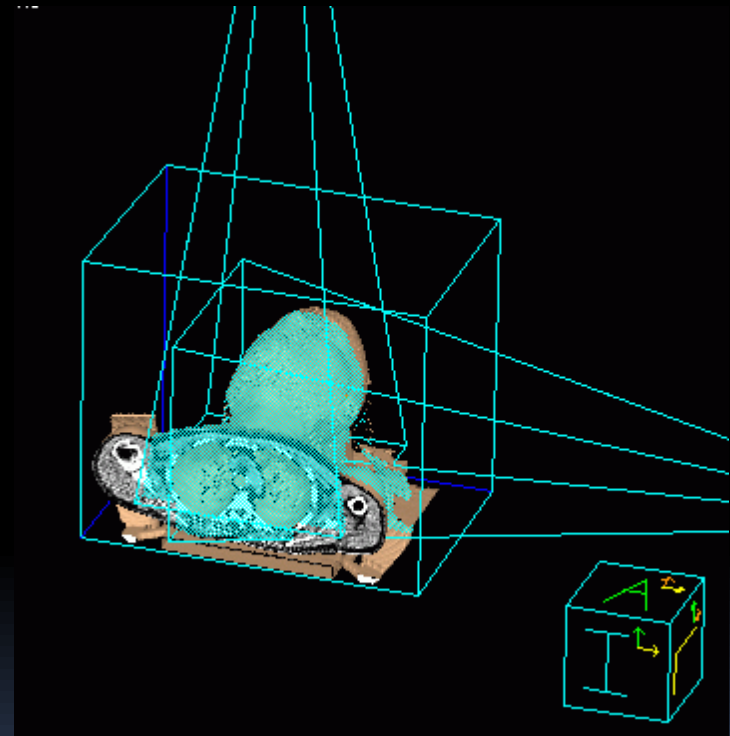


EVOLUCION TECNOLOGICA DE LA RT MODERNA

CONFORMITY

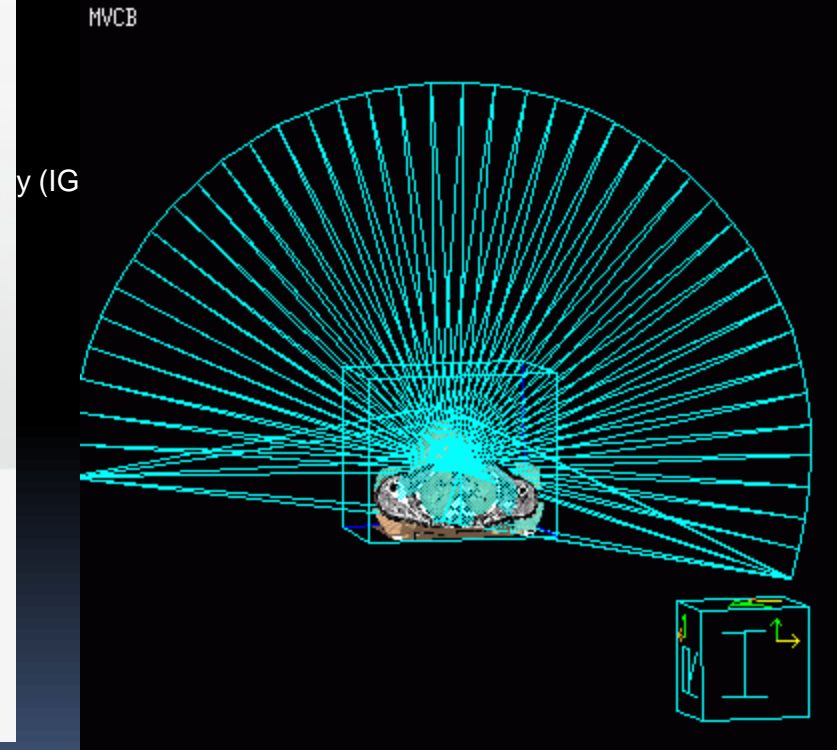


ALE con imagen Portal



ALE con IGRT

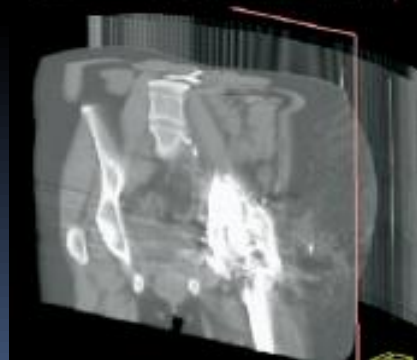
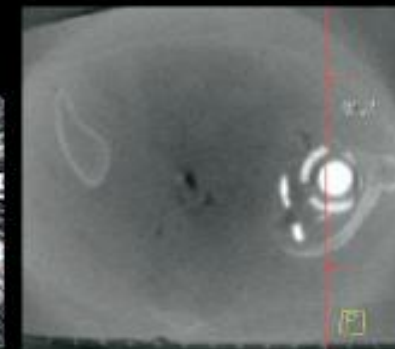
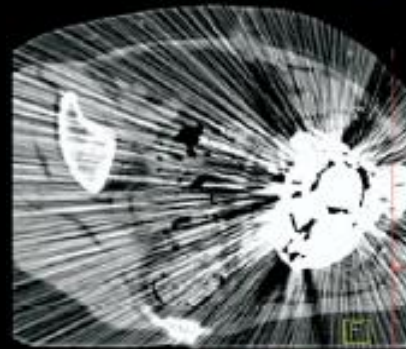
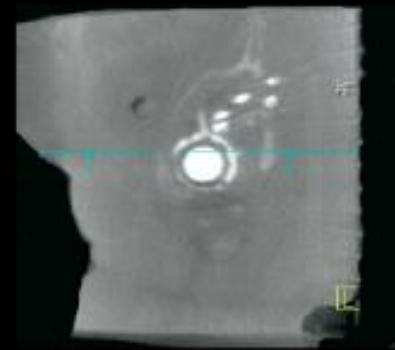
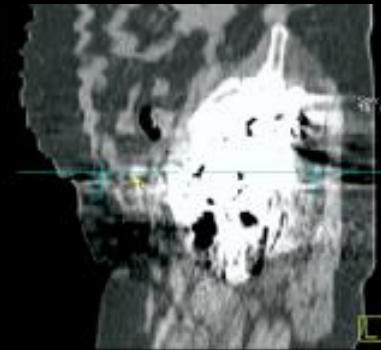
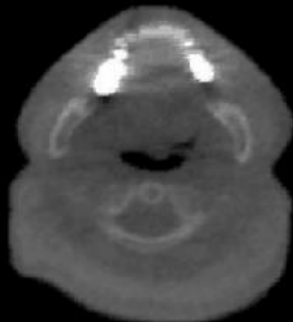
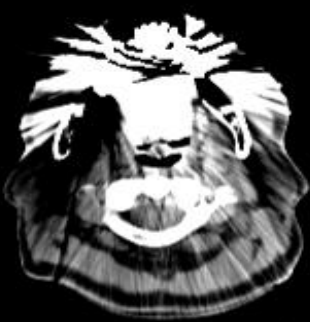
- Radioterapia Guiada por Imágenes (IGRT)





kV CT

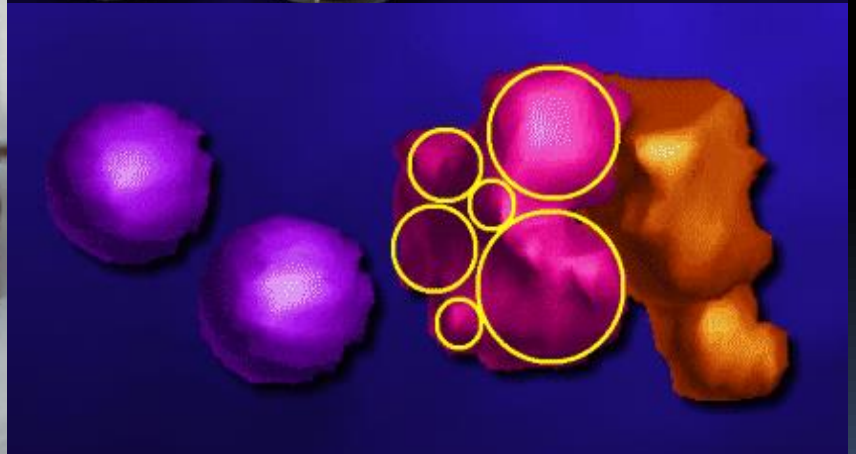
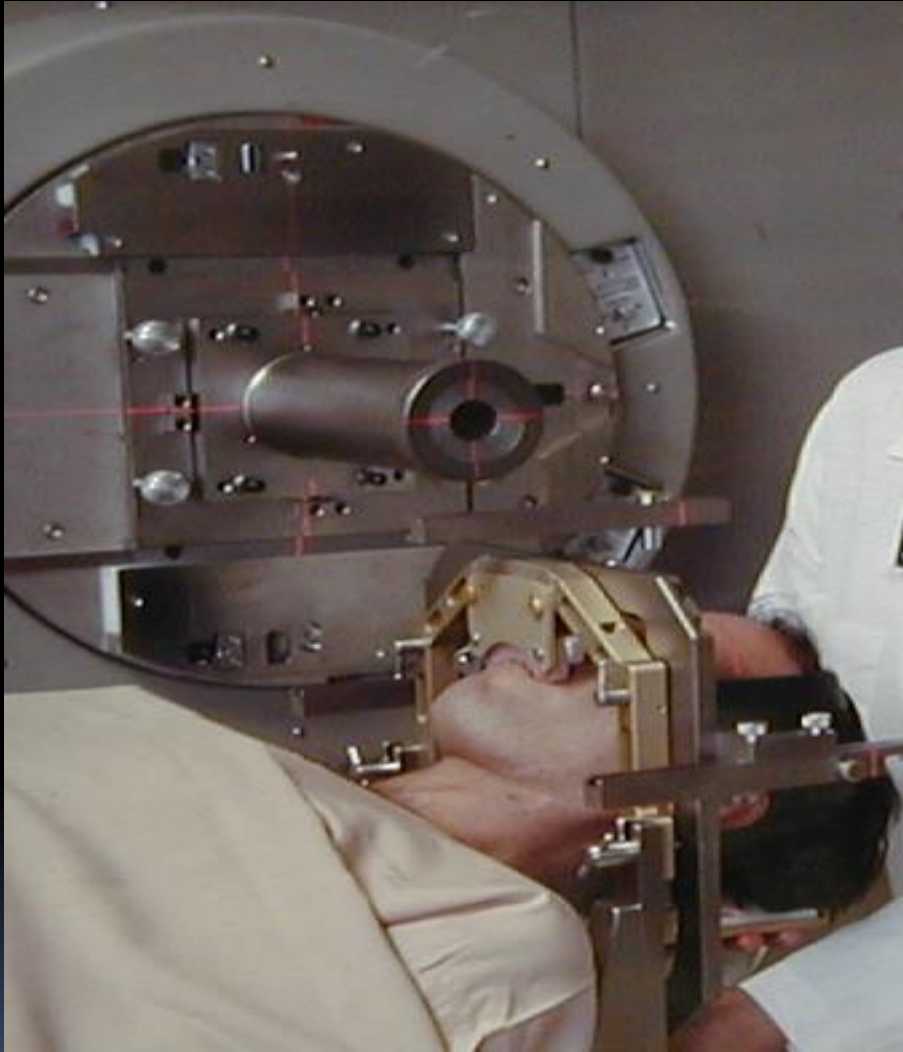
MVCB CT



Radioneurocirugía

GammaKnife:
201 ^{60}Co de 30Ci

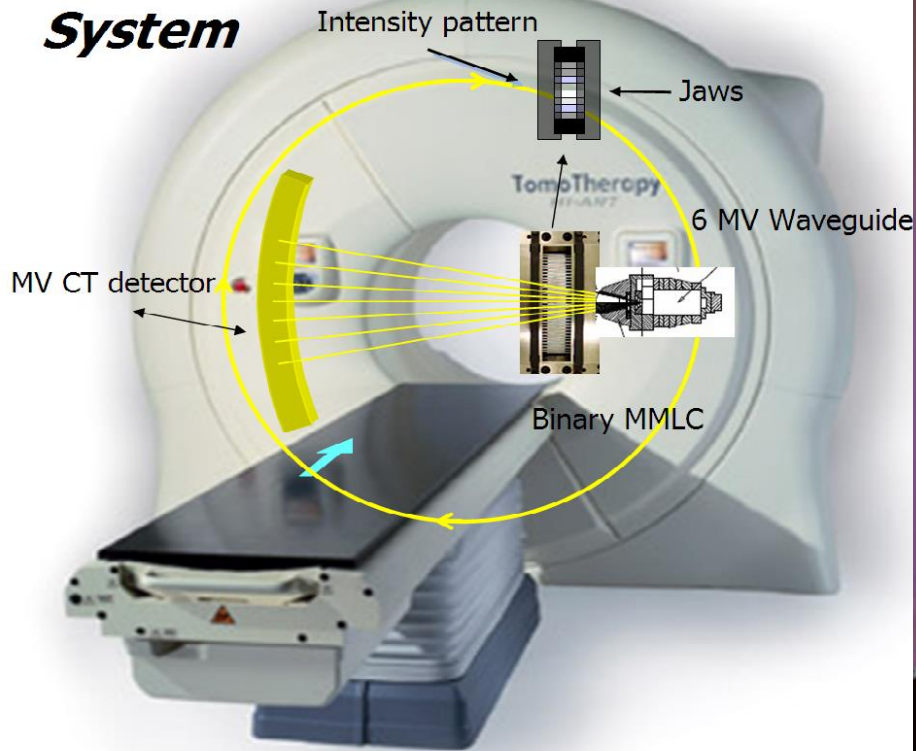


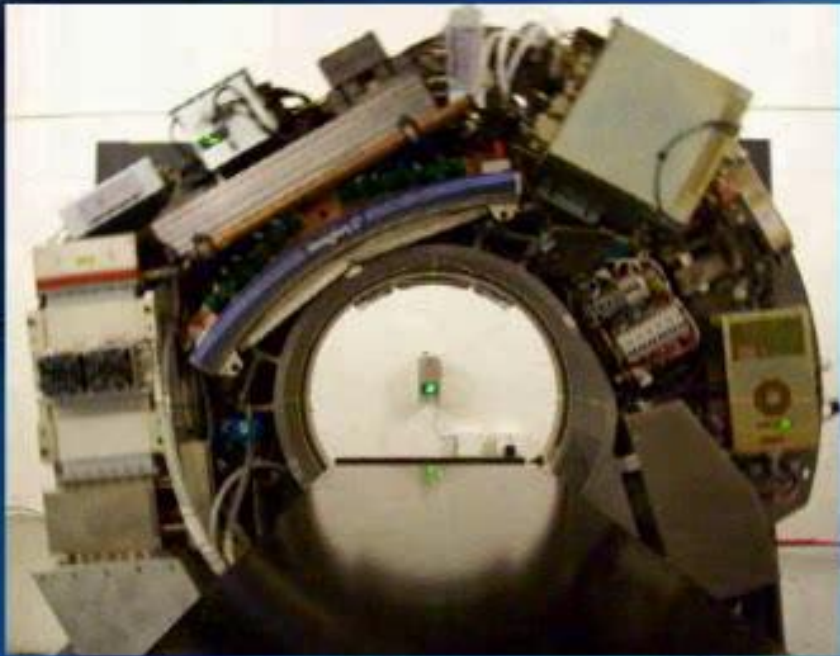




TOMOTERAPIA

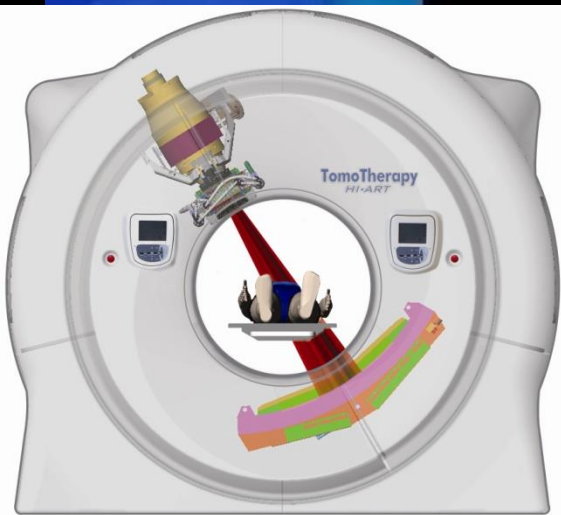
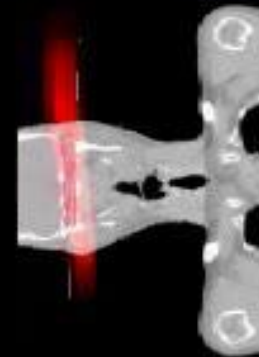
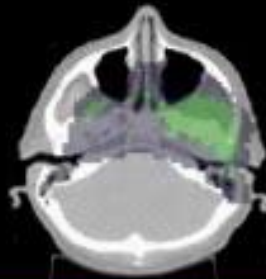
Hi-ART System





TomoTherapy
Hi-Art

66 62.7 59.4 52.8 46.2 33 19.8



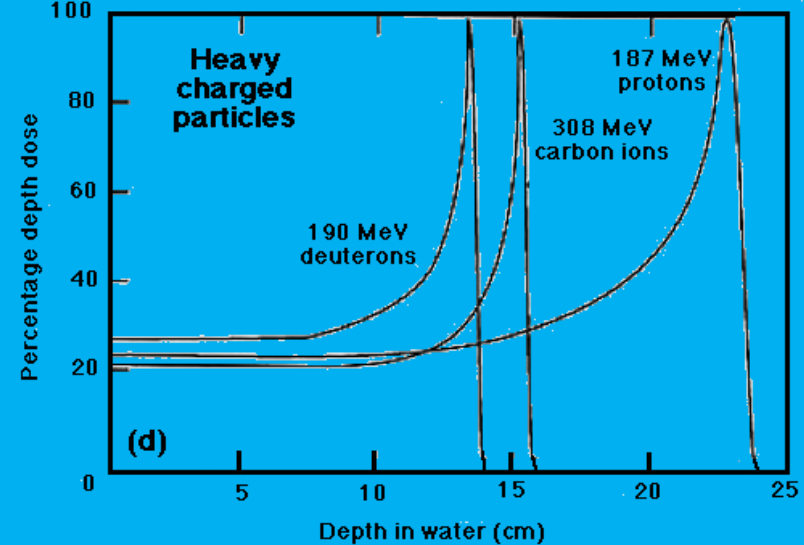
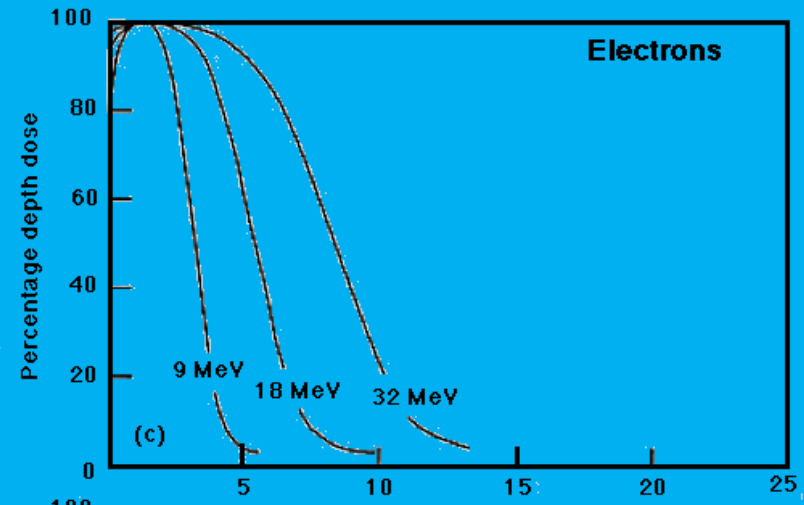
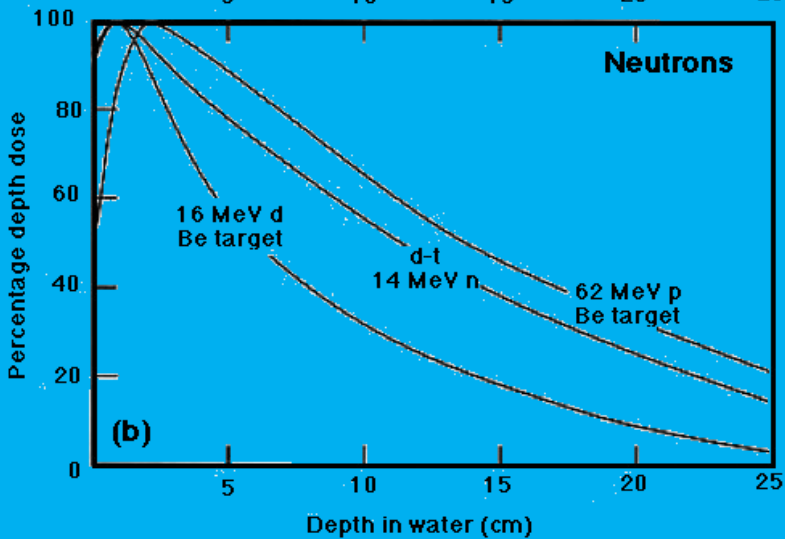
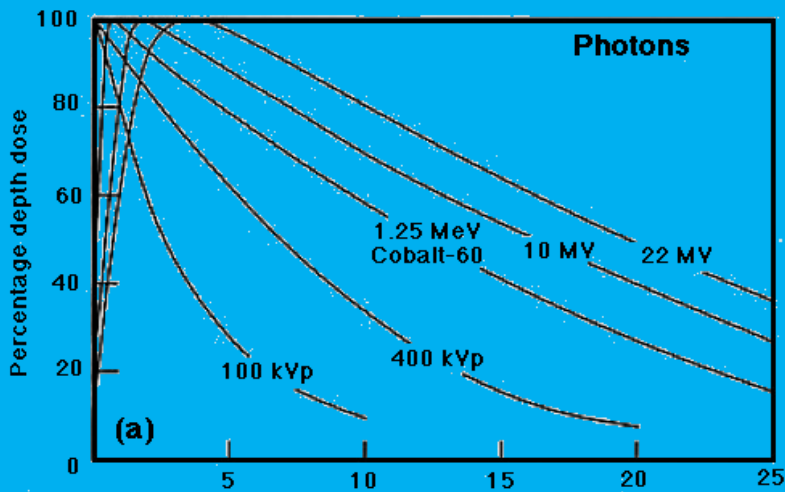
Cyberknife



RADIOTERAPIA CON PARTÍCULAS (PROTONES - NEUTRONES)

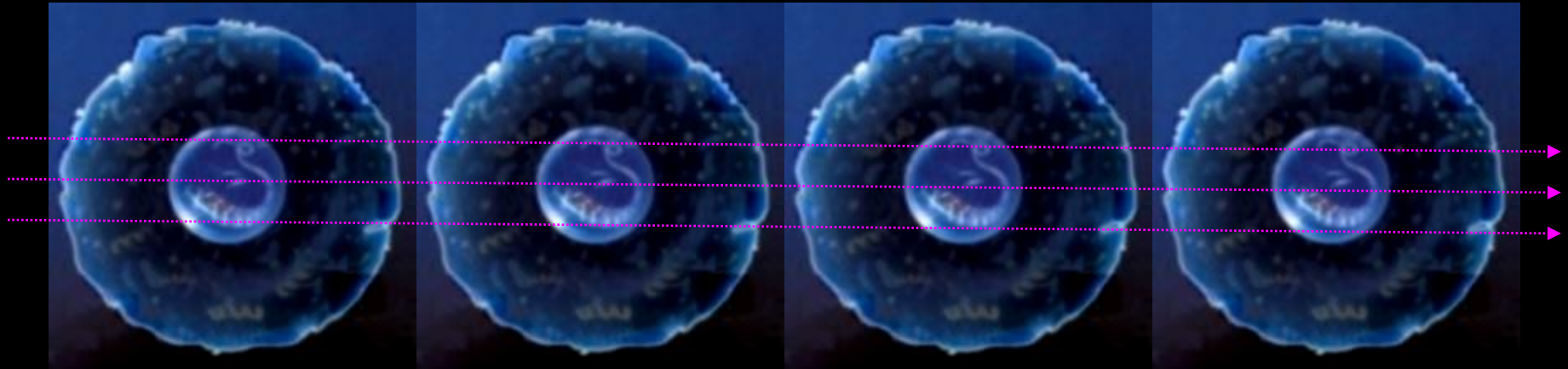
- La radioterapia externa se realiza básicamente con máquinas que producen fotones o electrones.
- En algunos (pocos) centros especializados alrededor del mundo, la RT Externa es llevada a cabo también con partículas pesadas tales como:
 - Neutrones producidos por ciclotrones o generadores de neutrones
 - Protones produced by ciclotrones or sincrotrones
 - Iones pesados (helio, carbono, nitrógeno, argón, neón, piones...) producidos por sincrociclotrones o sincrotrones.

EL PORCENTAJE DE DOSIS EN PROFUNDIDAD DE AGUA PARA HACES DE RADIACIÓN DE DIFERENTES TIPOS Y ENERGÍAS DESCRIBE LA PENETRACIÓN

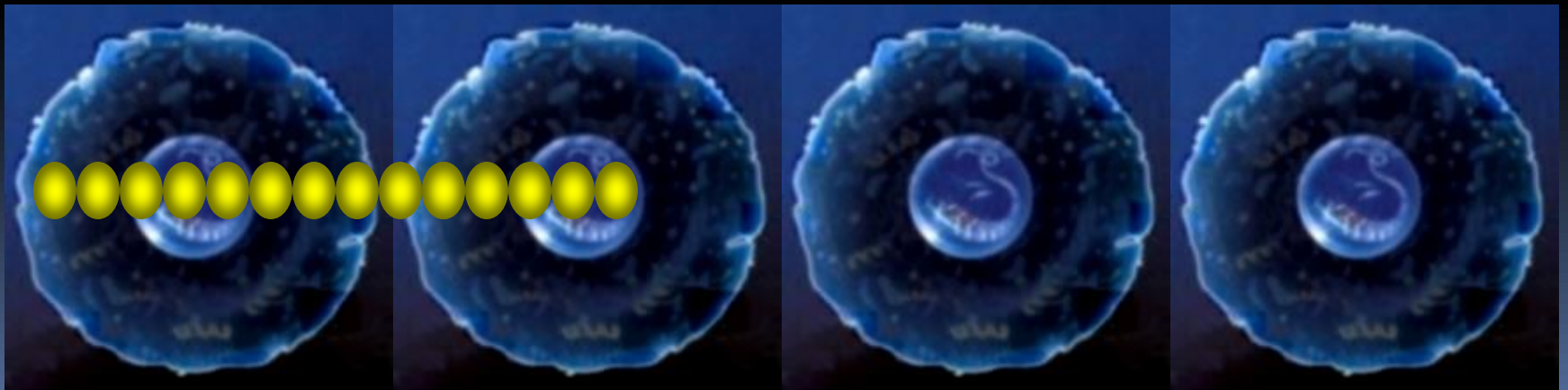


L.E.T. Kev / Micra

BAJA



ALTA



Clasificación en radioterapia

Radioterapia
Convencional

RT con haces de partículas

Protones

Iones Pesados

electron

e

Pion

P
N

He

C

Ne

Si

Ar

Proton
Neutron

X-ray
Gamma-
ray

Partículas pesadas, se definen como aquellas que son mayores que un núcleo de He

Mecanismo de la Terapia con Iones de Carbono



Características de la Terapia con Iones de Carbono

- **1) Mejor Distribución de Dosis**
(Puede tratarse al tumor más selectivamente.)
- **2) Mayor Efecto Biológico**
(Pueden tratarse tumores que son difíciles de controlar con RT convencional)

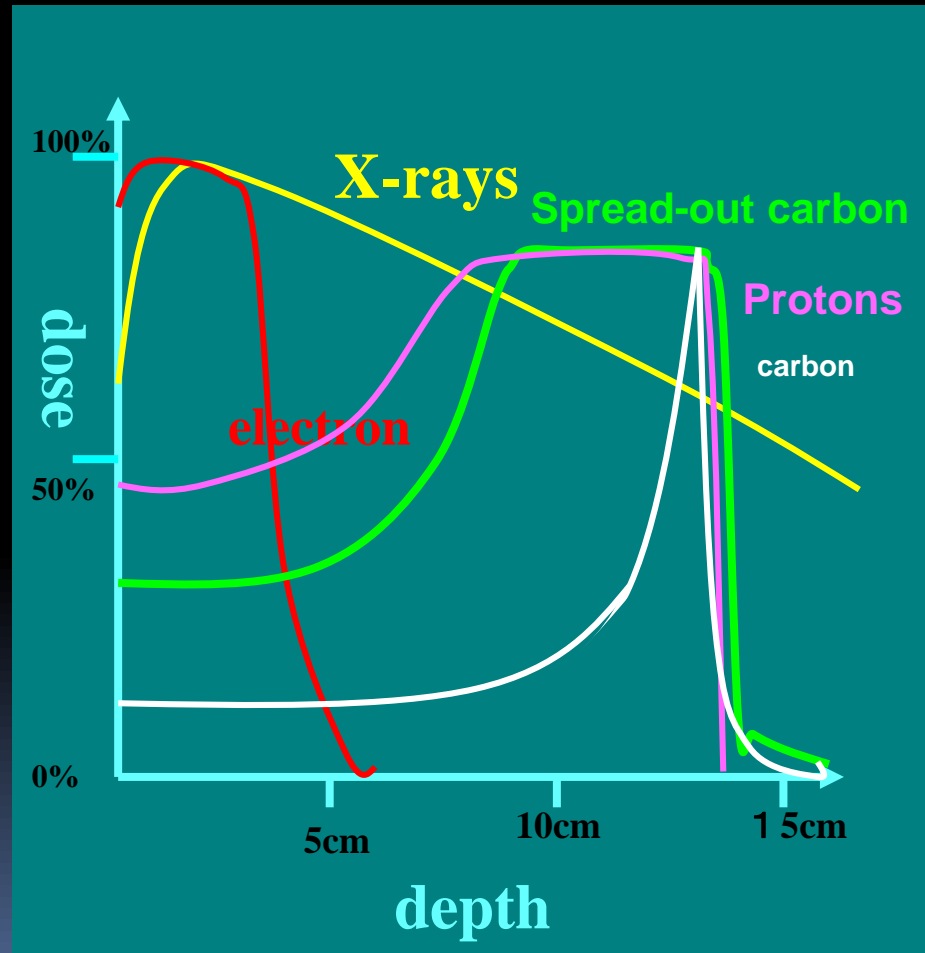
Distribución de Dosis de rayos X, haces de electrones y Carbono

Rayos X: La dosis disminuye con el incremento de la profundidad.

Electrones: La dosis está limitada a la región con sombra.

Carbon ions: la dosis puede ser concentrada en el Tm

Dosis de Radiación en películas de R-X

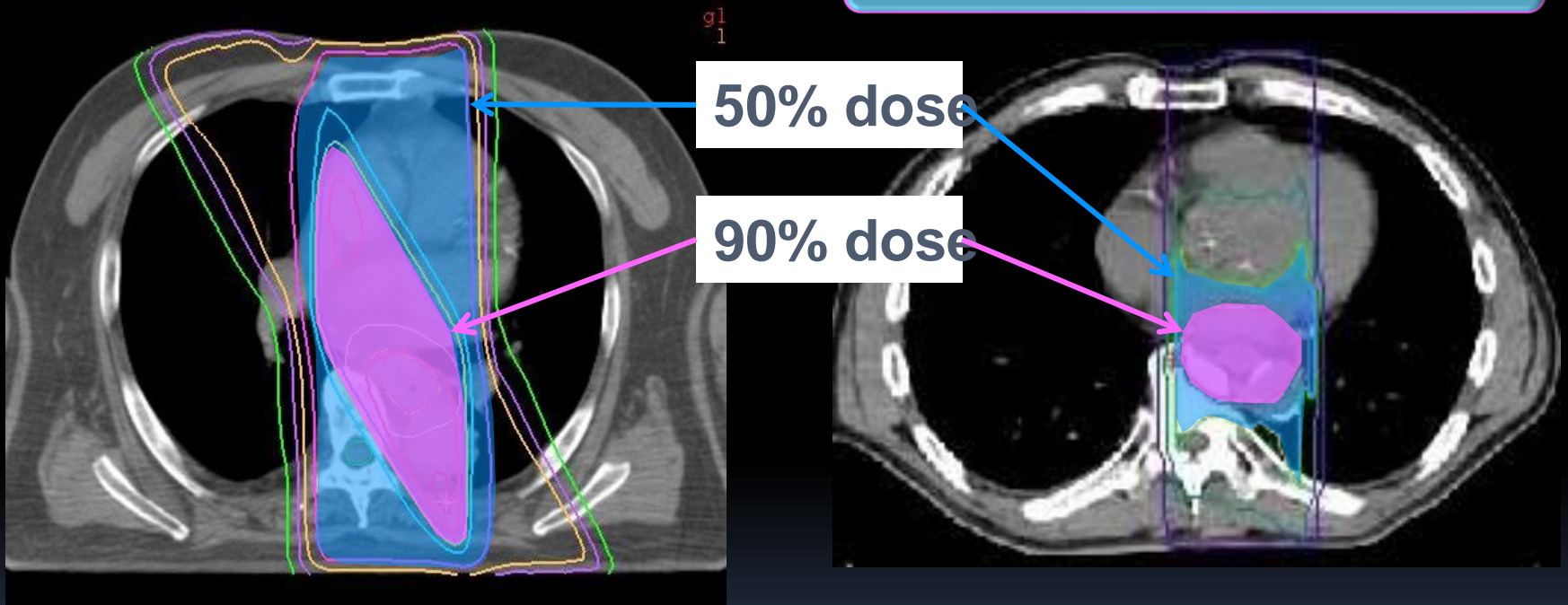


Comparación de Distribuciones de Dosis

Cancer de Esófago

RT Convencional

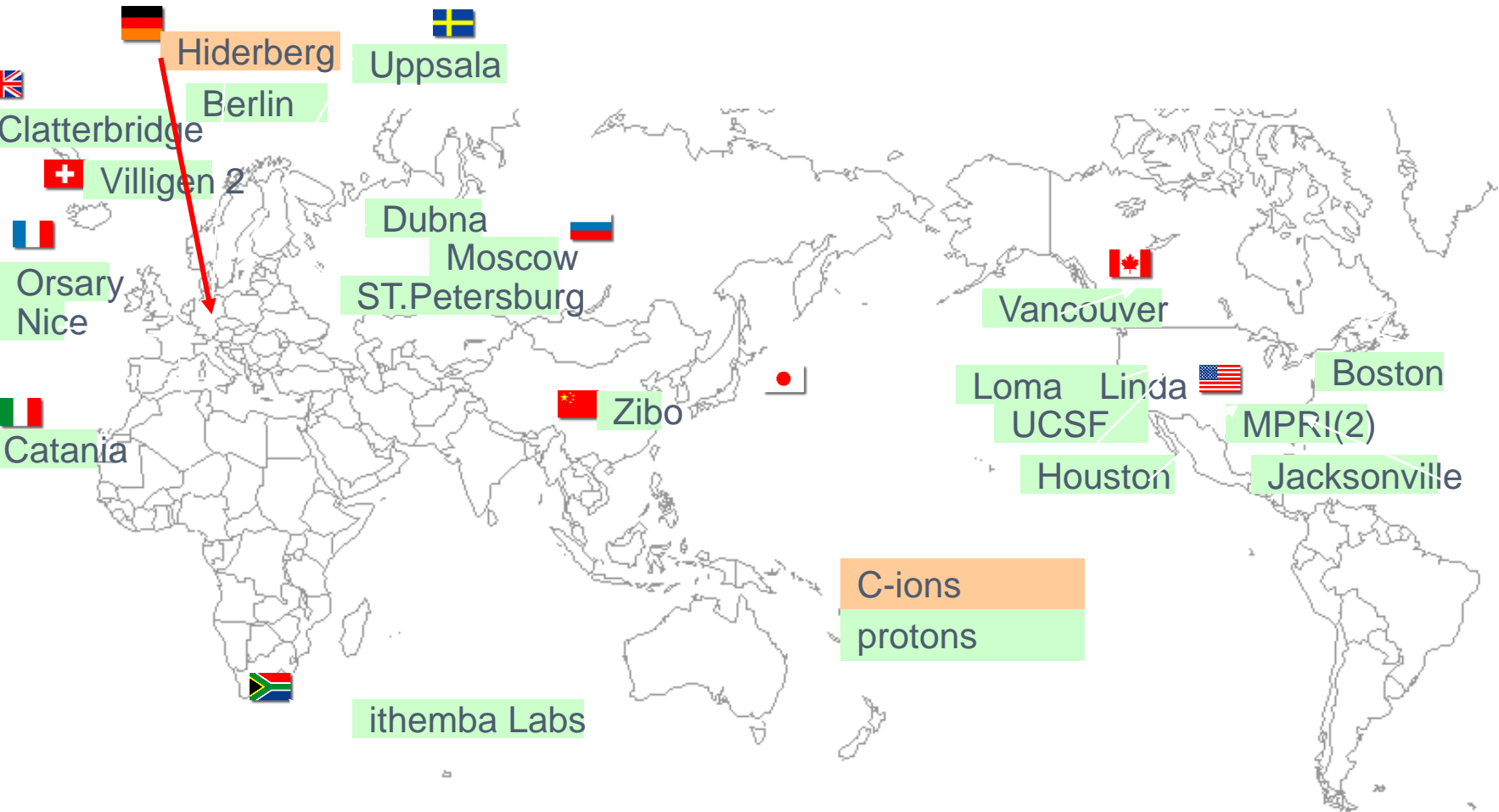
RT con iones de Carbono



La forma de la isodosis del 90% puede ser adaptada a la forma del tumor y así proteger los tejidos sanos circundantes!

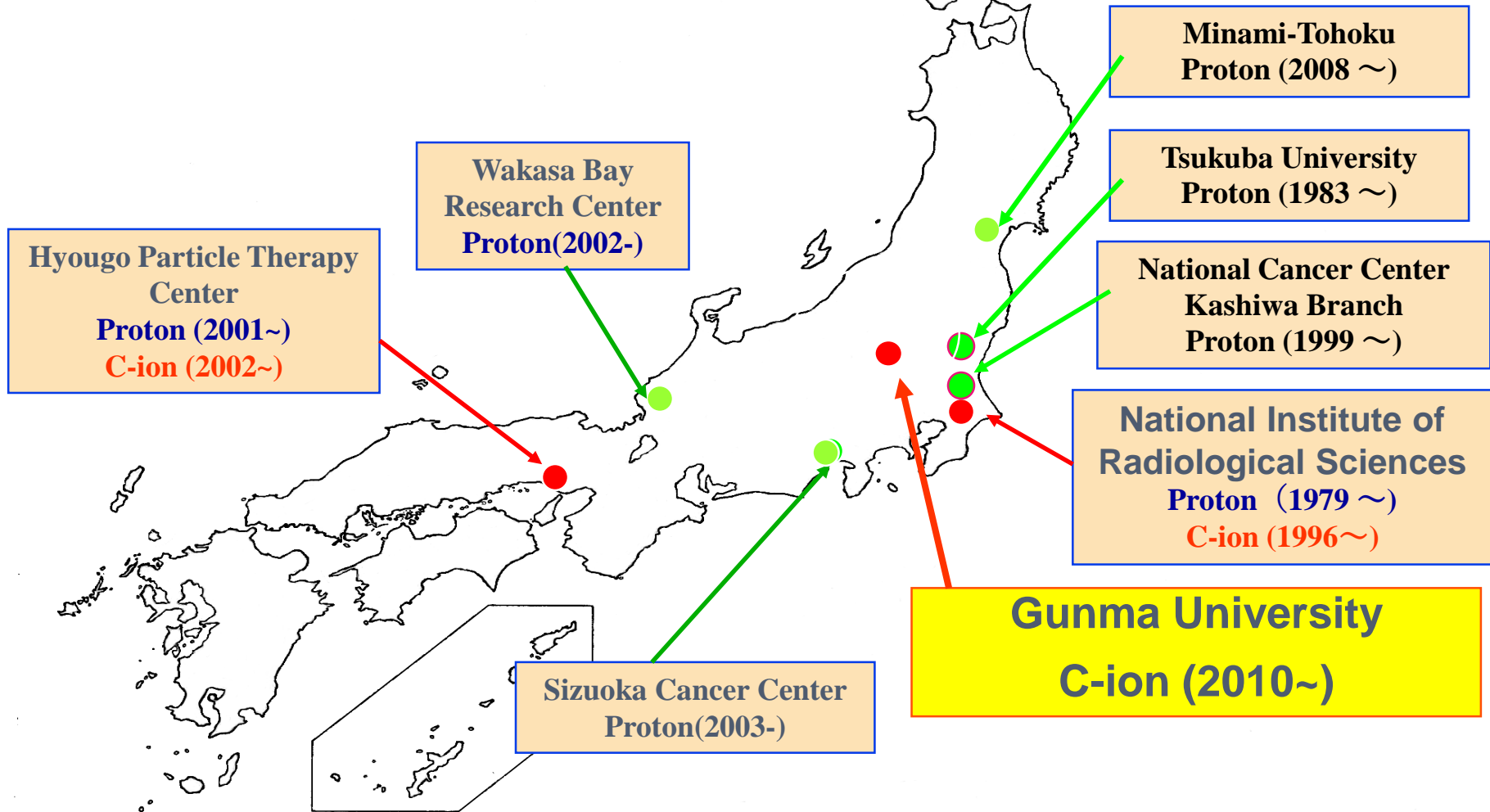
- ✚ El efecto biológico de **C-ions** es 2-3 veces mayor que los **Protones** o los **rayos-X**, de modo que la RT con **C-ion** es efectiva para cánceres resistentes a la radiación convencional.
- ✚ **Los Protones** tienen solo la ventaja de una excelente distribución de dosis, pero su efecto biológico es similar al de los rayos X!
- ✚ **C-ions** tienen dos ventajas principales: una excelente distribución de dosis, y un mayor poder de matar células!
- ✚ Por estas razones, los tratamientos con **C-ion** pueden finalizar en 1 – 10 fracciones entregadas 1 día cada 2 semanas mientras que la terapia con **rayos-X** o con **Protones** demanda 6-8 semanas con irradiaciones diarias!

Instalaciones operando con Terapia de haces de partículas alrededor del mundo (salvo Japón)

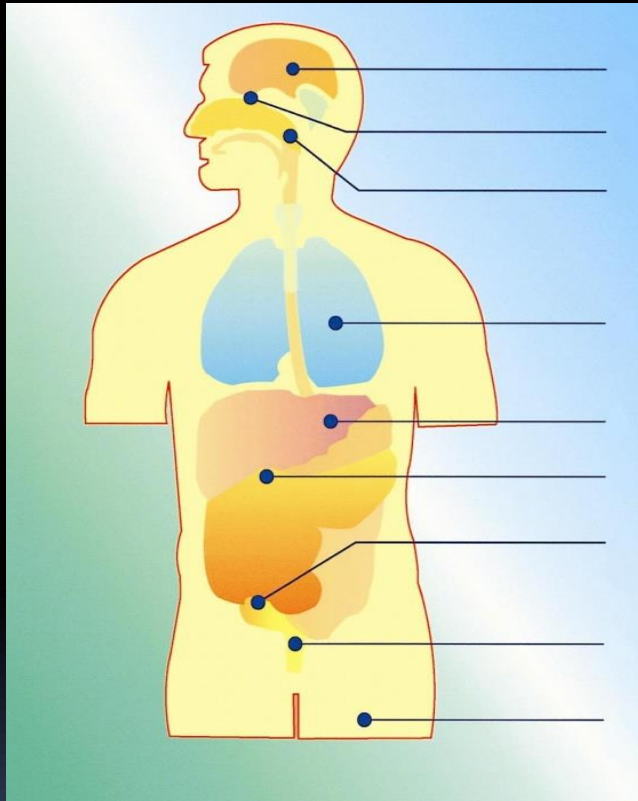


The breakthrough was made in the early 1950s when proton beams began to be used for clinical application at the MGH, Harvard Univ., Boston. Neon radiation as a heavy ion radiation first started for clinical use at the same facility (LBNL) in 1970. charged particle radiotherapy using proton or heavy ion beams is now being provided in over 20 facilities throughout the world.

Particle Beam Therapy Facilities in Japan



Indication of Carbon Ion Therapy



• Favorable

Brain tumor

H&N Ca. (Salivary Gld. Ca., Eye melanoma, etc.)



Lung Ca. (non-small cell type)

Colon Ca. (recurrent)



Liver Ca.

Pancreas Ca.

Prostate Ca.



Uterine Ca.

Esophagus Ca.

Bladder, Kidney, Thyroid Ca.

Bone/Soft tissue Sarcoma



• Less favorable

Gastric Ca. Colon Ca.



Unfavorable

Leukemia, Malig. Lymphoma



Require investigation

Breast Ca. Pediatric Ca.

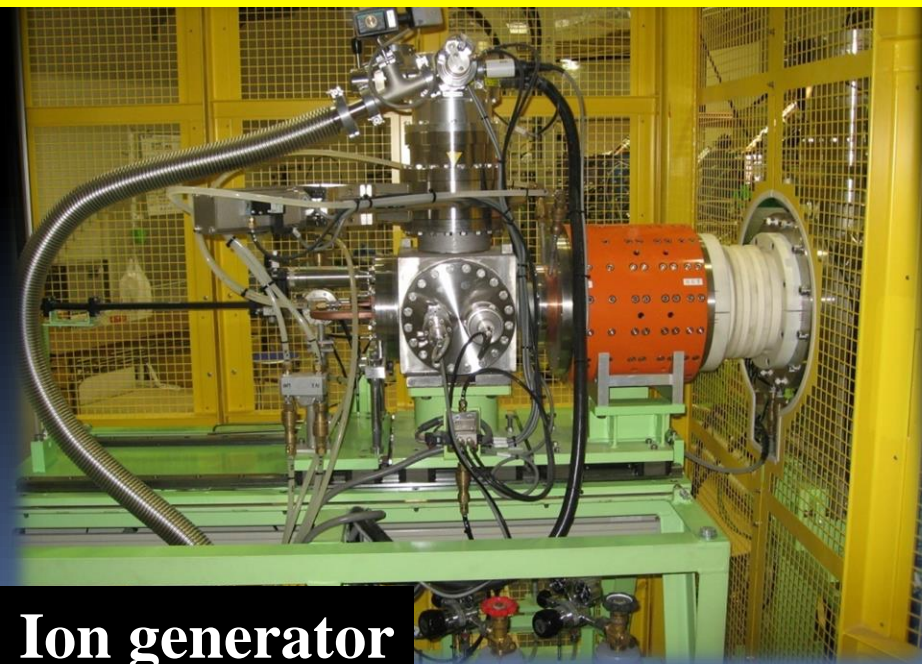


Treatment room

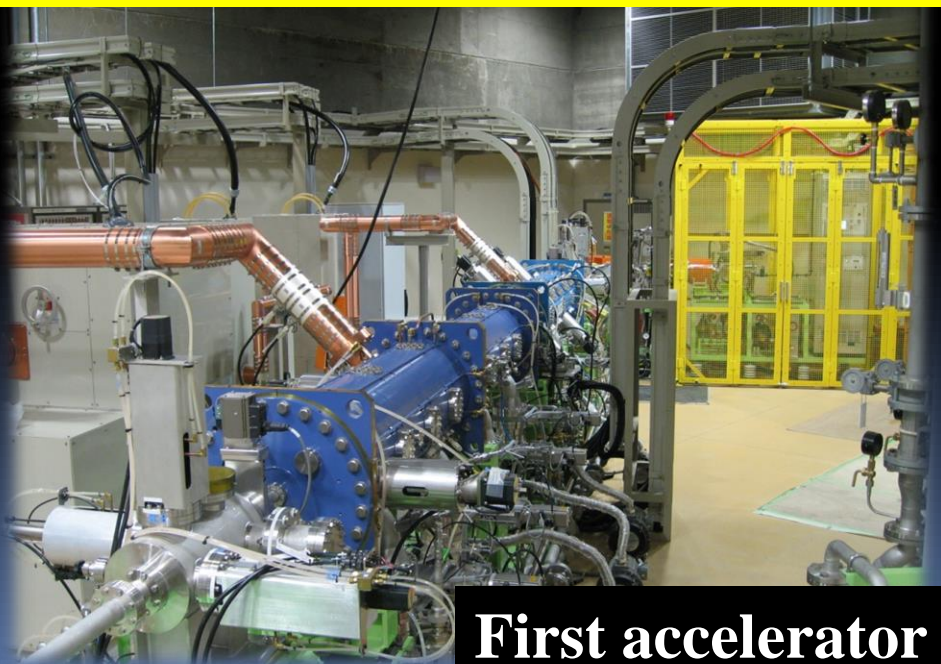


Synchrotron

Gunma University Heavy Ion Medical Center (GHMC)



Ion generator

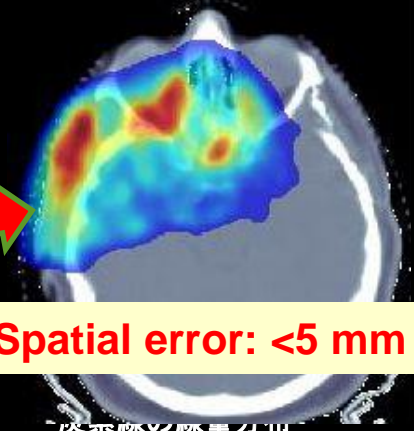


First accelerator

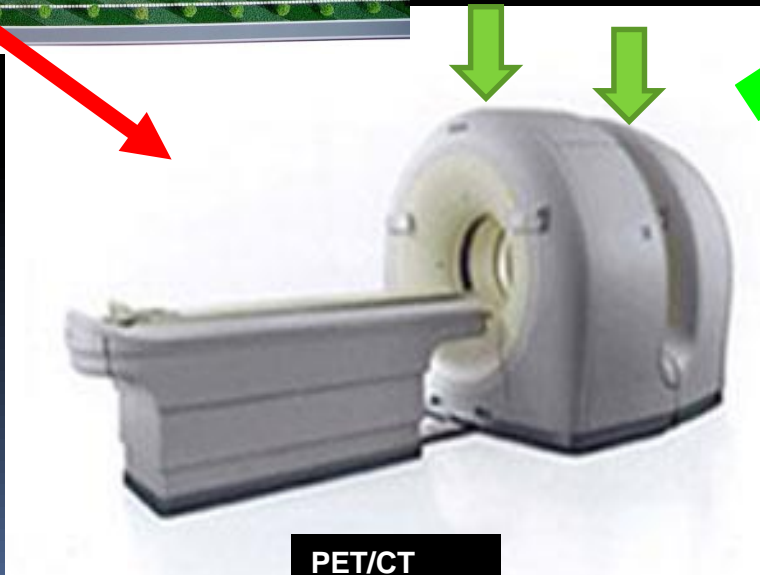
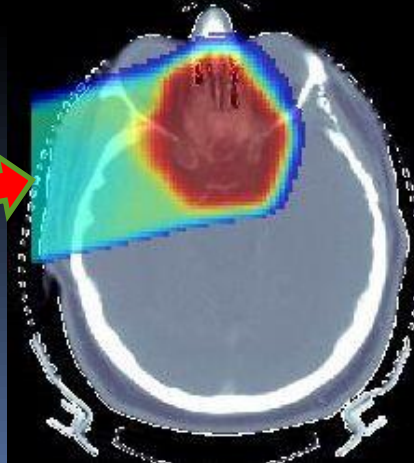
Verificación de la posición del haz mediante PET/CT



Fusion of CT and
PET images



Spatial error: <5 mm



PET/CT

1993

Pres
and
Bea

VIC Library
0 000001 978574

Prescri
Report
Therap
ICRU R

CIRC
615,849
I619
no. 62

Volume 4 No

IAEA Libran
0 000002 295626

Jo

ICRU R
Prescri
Electro

OXFO
UNIVERSIT

OXFORD UNIV

0 000002 441627

Volume 7 No 2

Jo

ICRU RE
Prescri
Proton-E

OXFORD JOUR
OXFORD UNIVERSITY

OXFORD UNIVER

Volume 10 No 1 2010

IAEA Library
0 000002 553160

ISSN 1473-6691 (print)
ISSN 1742-3422 (online)

Journal of the ICRU

ICRU REPORT 83

Prescribing, Recording, and Reporting Photon-Beam Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT)

OXFORD JOURNALS
OXFORD UNIVERSITY PRESS



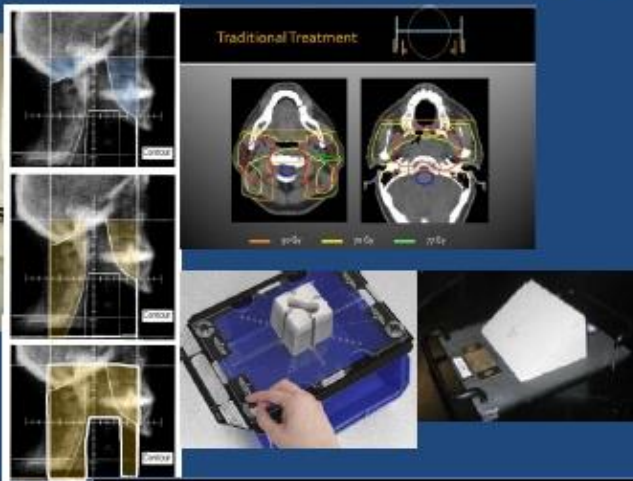
OXFORD UNIVERSITY PRESS

INTERNATIONAL COMMISSION ON
RADIATION UNITS AND
MEASUREMENTS

Increasing complexity (1985-present)



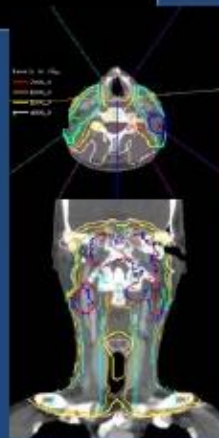
THEN



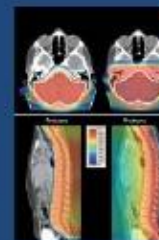
Field Size	10 x 10	10 x 15	10 x 20	10 x 25	10 x 30	10 x 35	10 x 40	10 x 45	10 x 50	
5c	0.949	0.956	0.977	0.991	1.000	1.011	1.024	1.037	1.051	1.064
8p	0.912	0.926	0.951	0.969	1.000	1.060	1.115	1.171	1.229	1.290
TVRs										
Field Size	10 x 10	10 x 15	10 x 20	10 x 25	10 x 30	10 x 35	10 x 40	10 x 45	10 x 50	
Depth 1.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1.5	1.002	1.002	1.001	1.001	1.002	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
2.0	0.998	0.997	0.994	0.992	0.990	0.986	0.981	0.976	0.971	0.967
2.5	0.990	0.989	0.984	0.980	0.987	0.987	0.987	0.987	0.987	0.988
3.0	0.982									
3.5	0.974									
4.0	0.967									
4.5	0.960									
5.0	0.953									
5.5	0.947									
6.0	0.940									
6.5	0.934									
7.0	0.928									
7.5	0.922									
8.0	0.916									
8.5	0.910									
9.0	0.904									
9.5	0.898									
10.0	0.892									



NOW

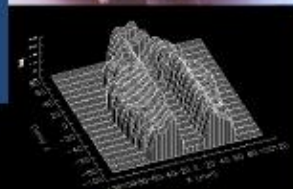


& protons



GTV, CTV, ITV,
4D, OAR, PRV,
DVH, NTCP, TCP,
EUD

19 field H&N IMRT
3 Dose levels



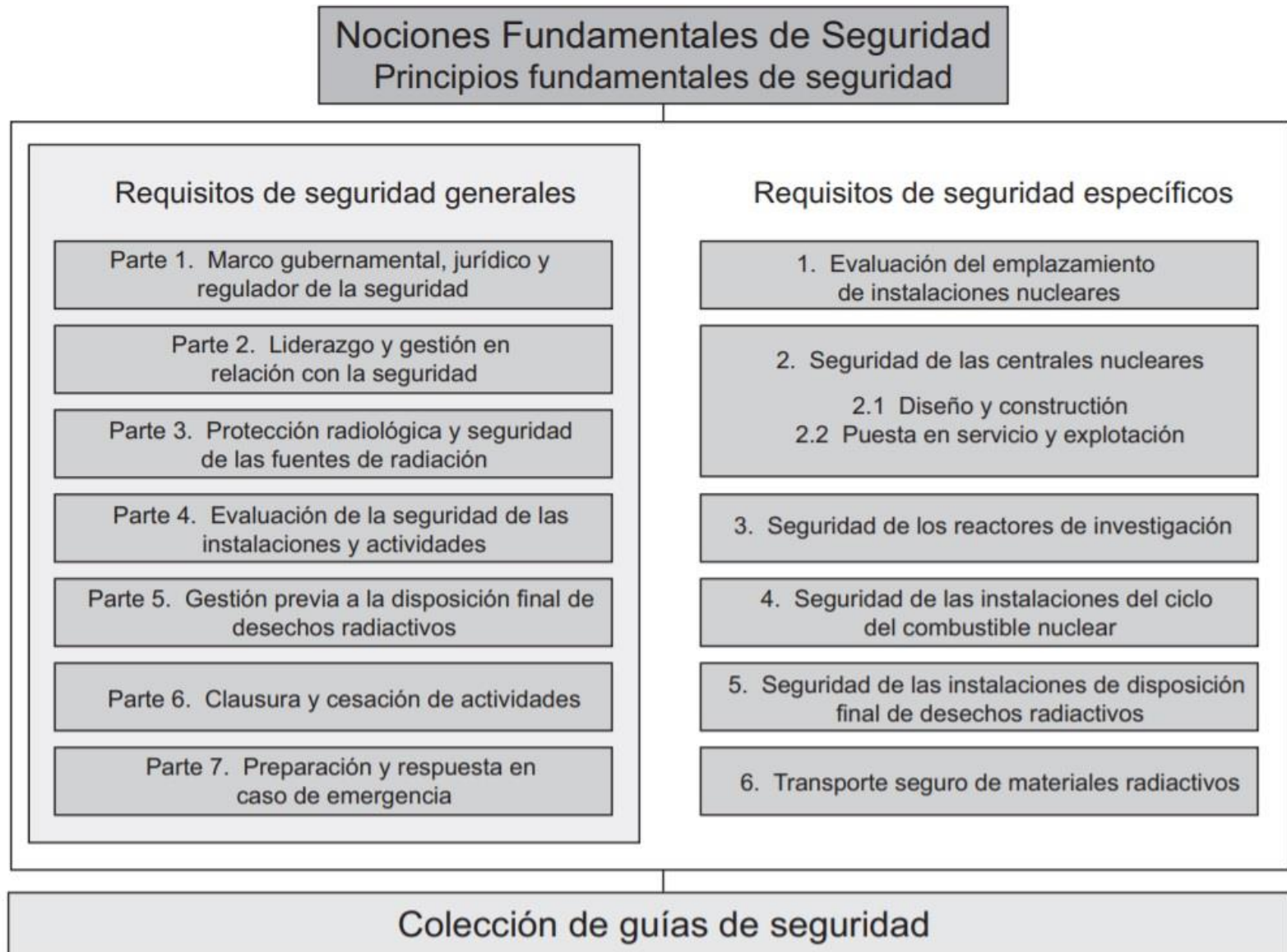


FIG. 1. Estructura a largo plazo de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA.

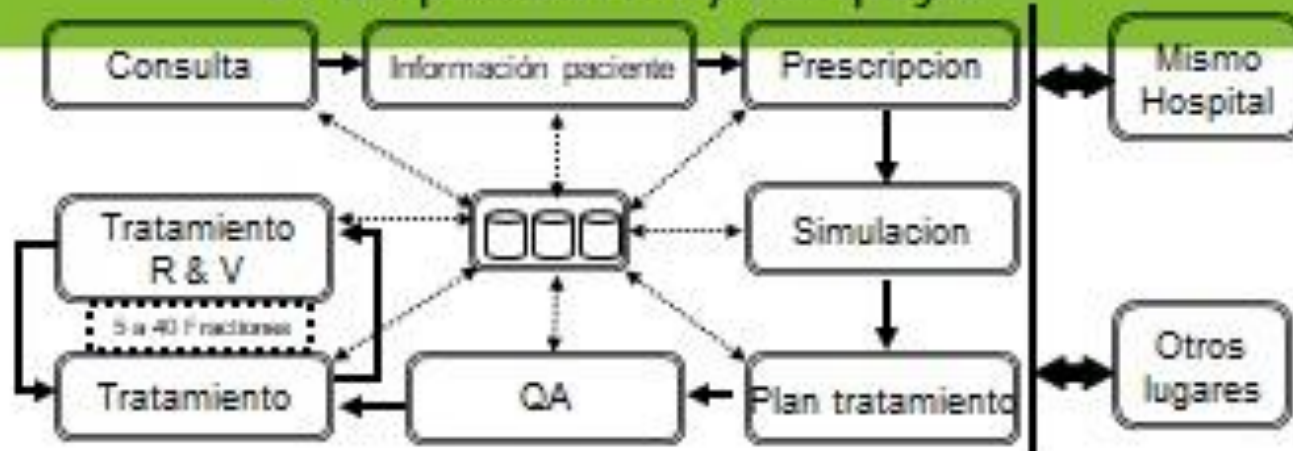
Resulta imprescindible

- Mejorar ergonómicamente el área de trabajo
- Reducir el tráfico de personas
- Definir las responsabilidades.
- Limitar las personas en las consolas de tratamiento.
- Interacción de todo el personal.
- Protocolos escritos.

Juegan un importante papel en la seguridad los siguientes factores

- Las responsabilidades deben ser definidas.
- Las responsabilidades deben ser razonables.
- **Debe haber avisadores tempranos.**
- Se debe aprender de otros errores.
- Acciones correctivas.
- Se han de realizar auditorias.
- Se han de realizar revisiones.
- El proceso tiene que ser acreditado.

Es un proceso muy complejo



- Diferentes tipos de cáncer.
- Diferentes técnicas de tratamiento.
- Diversas tecnologías.

Entorno multi- vs. único-provedores

- Diferentes profesionales:
- Médicos
 - Radiofísicos
 - Técnicos
 - Dosimetristas
 - IS Staff
 - Administrativos Staff

- Inovaciones tecnológicas:
- EPID
 - kV localizador
 - CBCT
 - Otras IGRT

- Investigación
- Clínica

Análisis:
On-line
Off-line

Documentos vs. no documentos

Una gran cantidad de información

Evolución de la RT desde RT-2D a RT-3DC ..IMRT... 4D...

