

IX CONGRESO ARGENTINO DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

SAR

Mendoza 2 – 4 octubre 2013

Impacto de las Nuevas Tecnologías en la PR del paciente / Radioterapia

Lic. G. R. Vélez

SAFIM

grvelez@gmail.com

HISTORIA DE LA RADIOTERAPIA

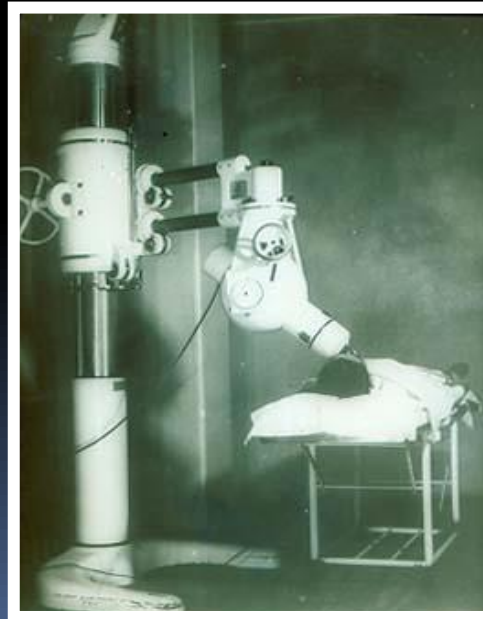
Madame CURIE



BRAQUITERAPIA: Tubos y Agujas de Ra-226



“Bomba” de Radio



“Bomba” de Cesio



RADIOTERAPIA

EXTERNA:

- Convencional.
- Cobaltoterapia.
- Acelerador Lineal.



TELETERAPIA
(TELE = Lejos)

BRAQUITERAPIA:

- Fuentes
Radiactivas
Encapsuladas.



BRAQUITERAPIA
(BRAQUI = Cerca)

Equipamiento



Simulación

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



Teleterapia

- Equipo Rx
- Unidad de ^{60}Co
- ALE

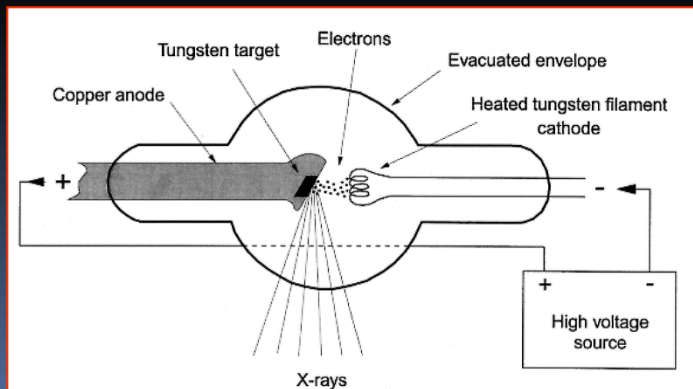


Braquiterapia

- Baja Tasa de Dosis
- Alta Tasa de Dosis

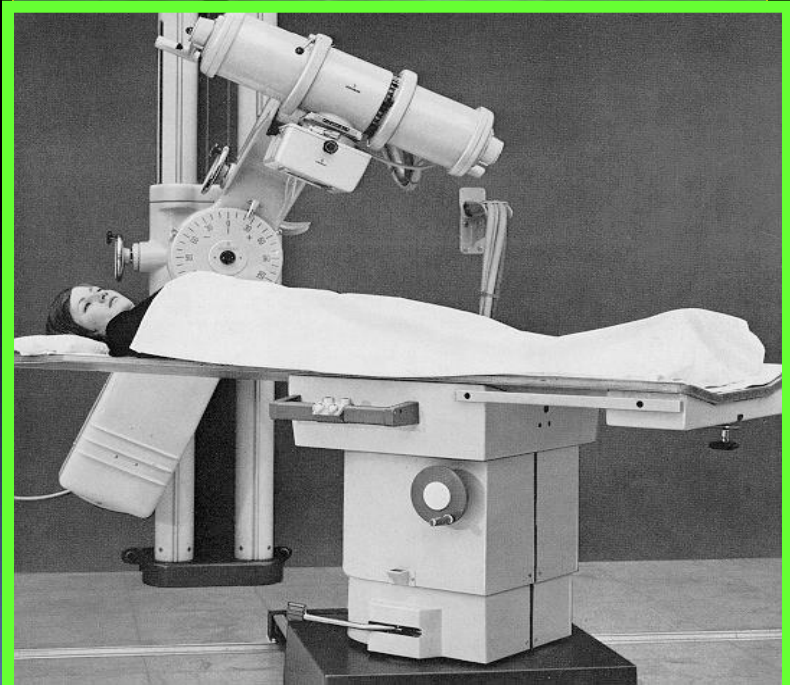
Equipos Superficiales y de Ortovoltage

- 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



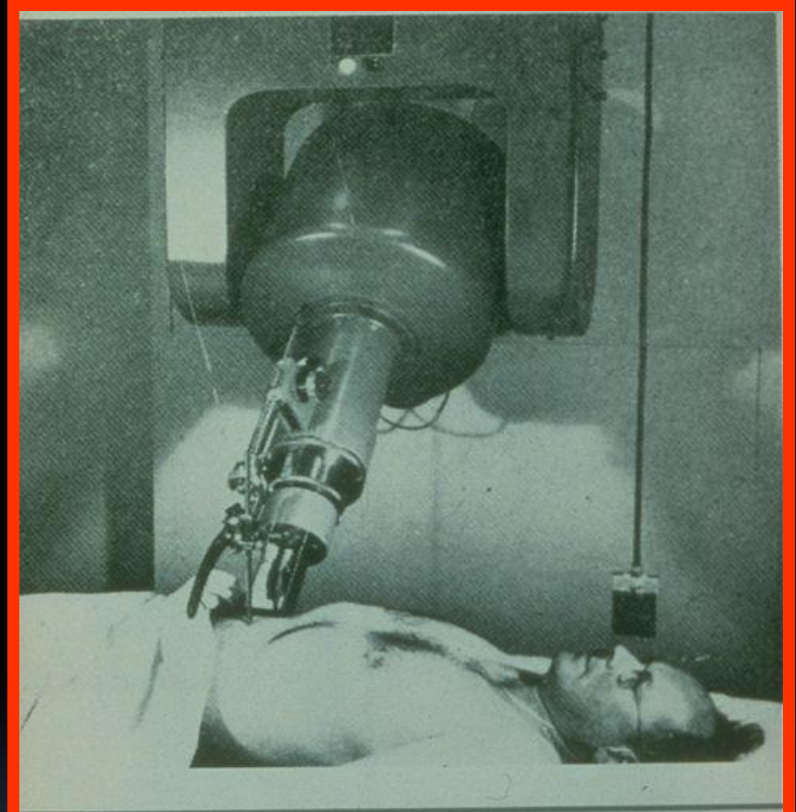
Unidades de Ortovoltaje

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



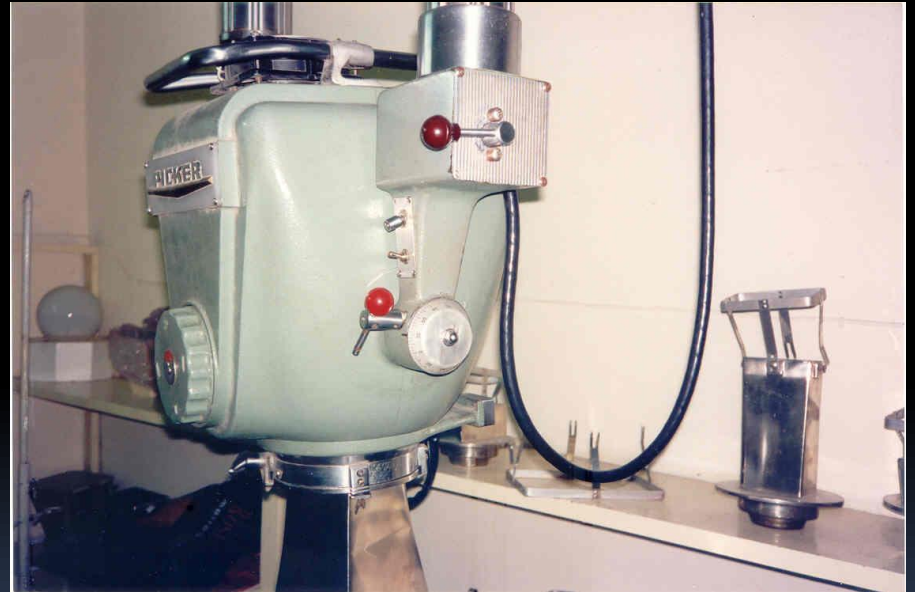
Unidades de Telecuriterapia

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



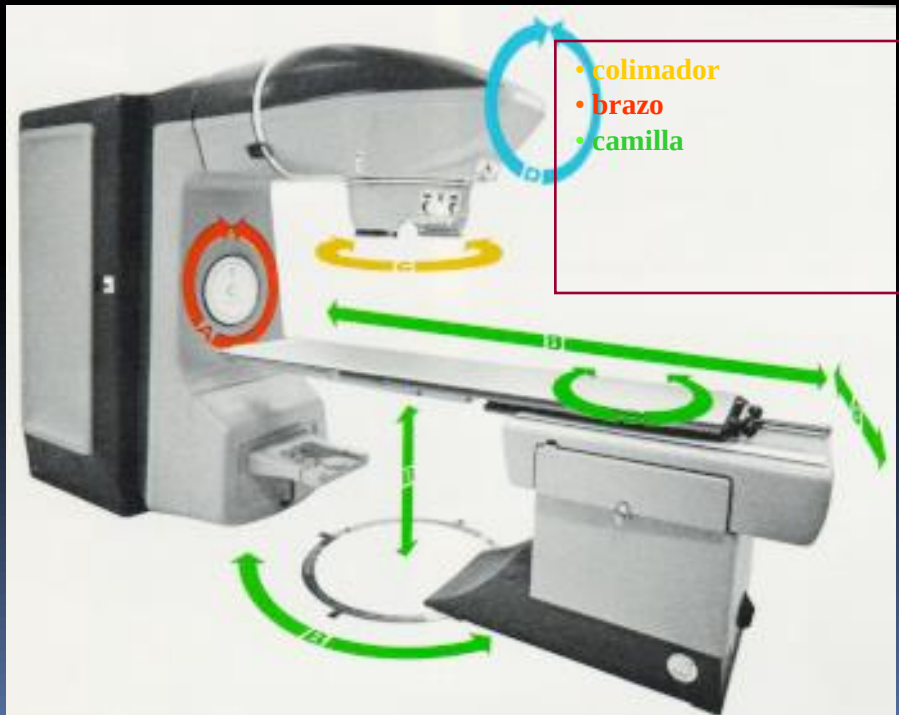
First cobalt-60 radiation therapy unit (1951).

“Bomba” de Cs-137 (Picker)



Equipo de Rayos Gamma- Co-60

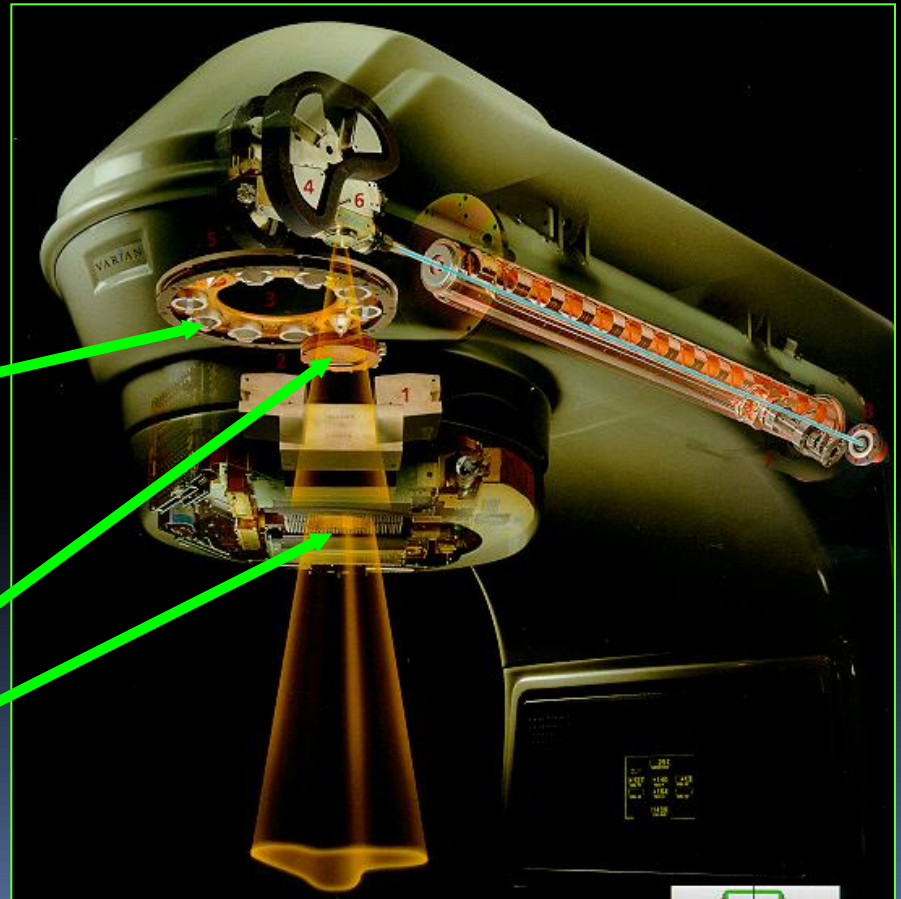
- Energía de fotones alrededor de 1.25MeV
- Actividad específica suficiente para FSD de 80cm o incluso 100cm
- Configuraciones isocéntricas de todos los componentes



Aceleradores de electrones

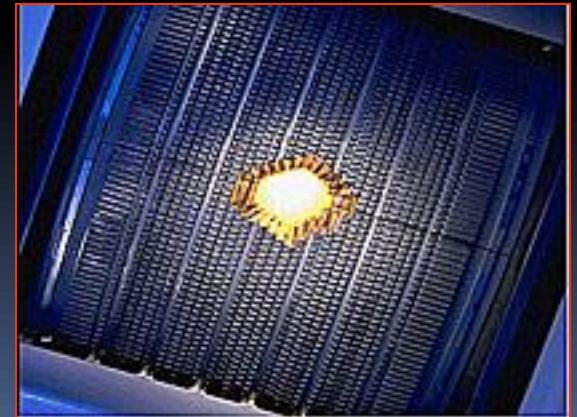
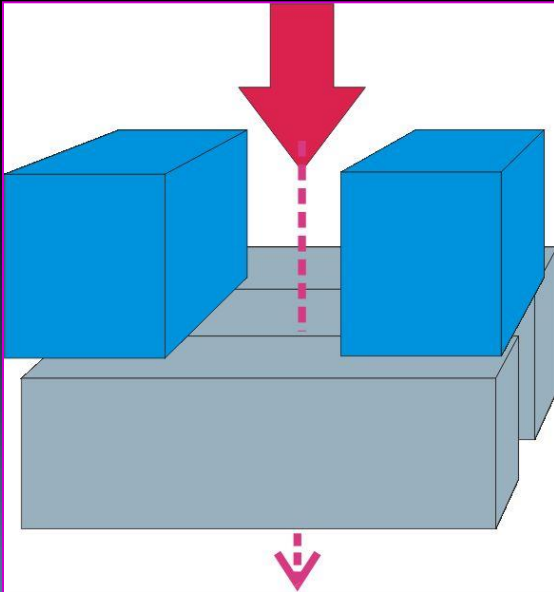
Complejidad del
cabezal para lidiar
con múltiples
energías y
modalidades

- 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

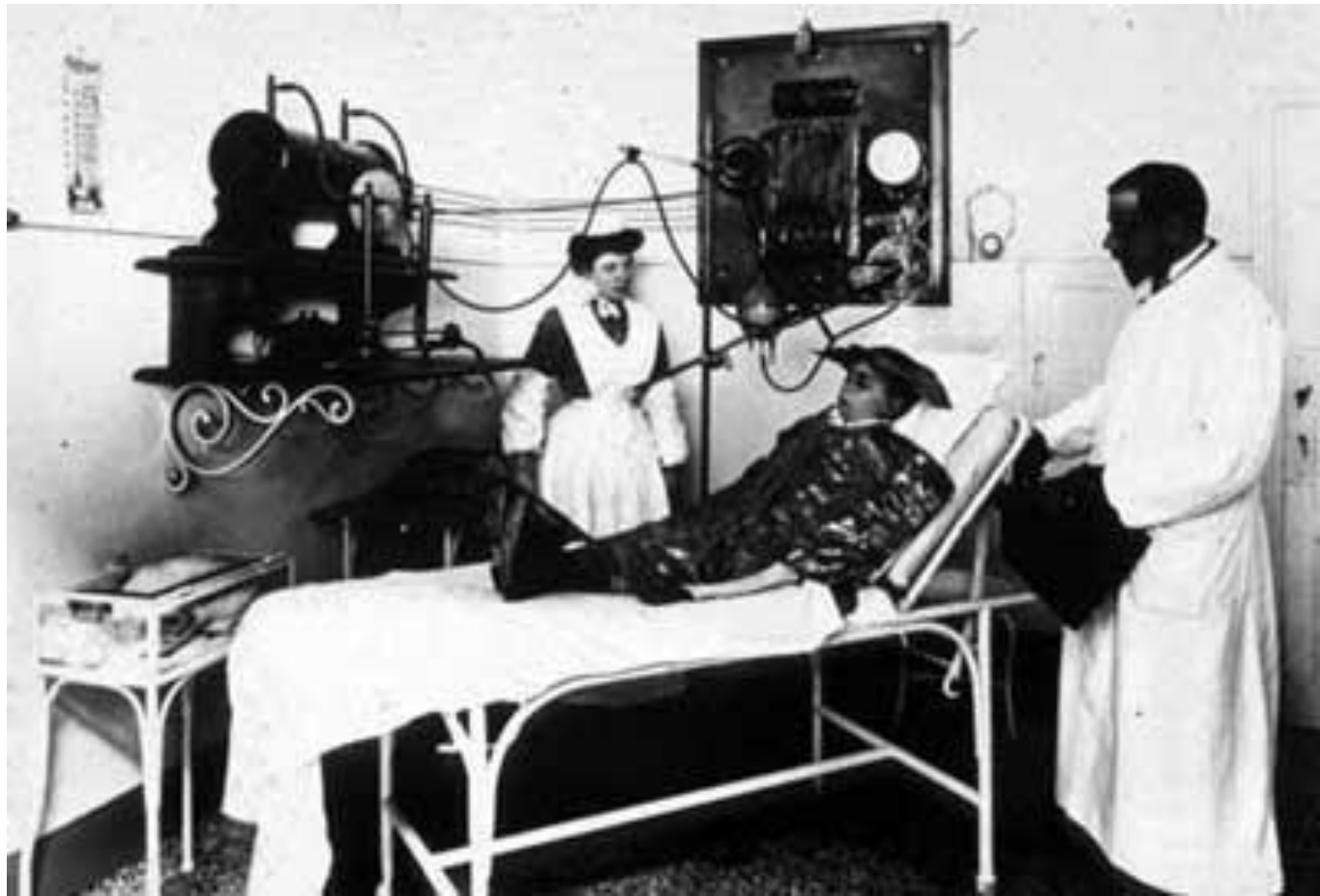


Aceleradores de electrones

- 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



Examen Clínico



Simulacion Convencional

- Conventional Simulation limitations

- Impossible to v

- Target localization examination

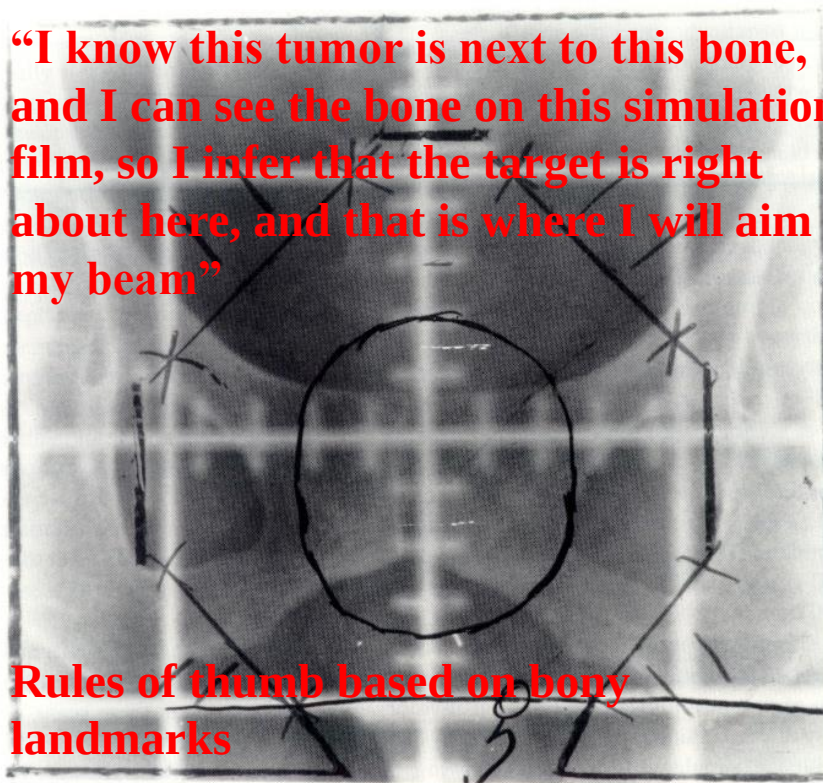
- CT images on a
 - Differences in
 - Loss of tridime

- Simplified stand

- Loose conform
 - Large treated v

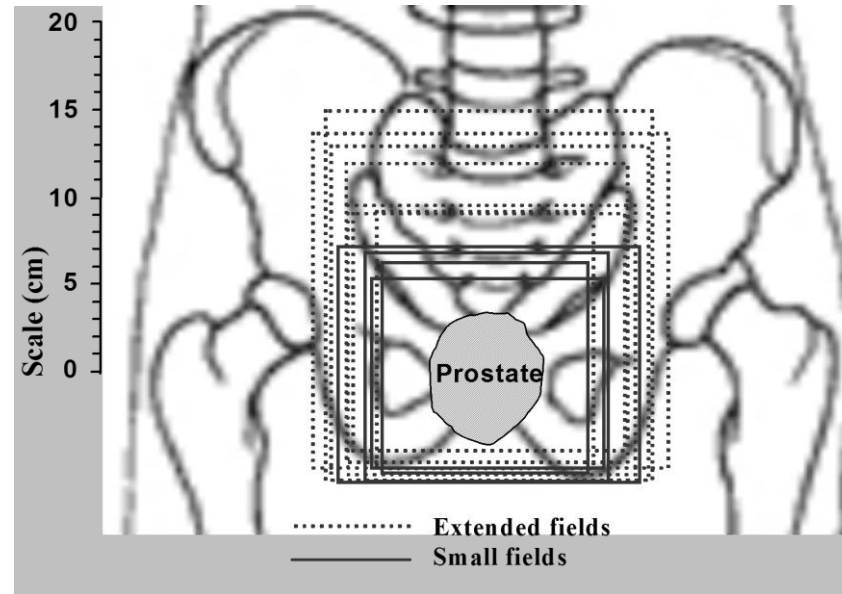
“I know this tumor is next to this bone, and I can see the bone on this simulation film, so I infer that the target is right about here, and that is where I will aim my beam”

Rules of thumb based on bony landmarks

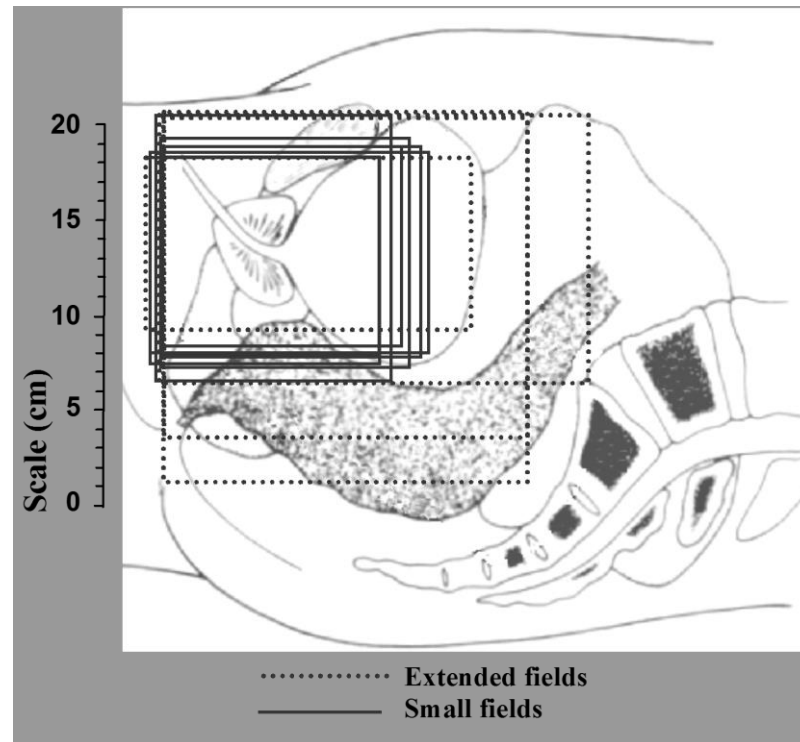


physical

Delineado del volume blanco (Target) ...

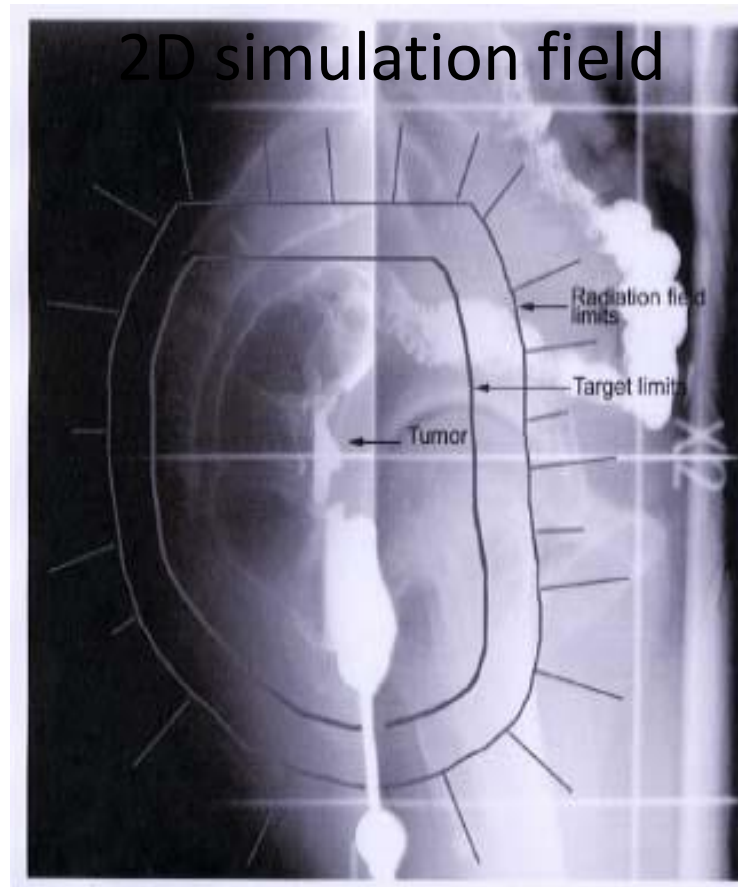


EORTC 22 961

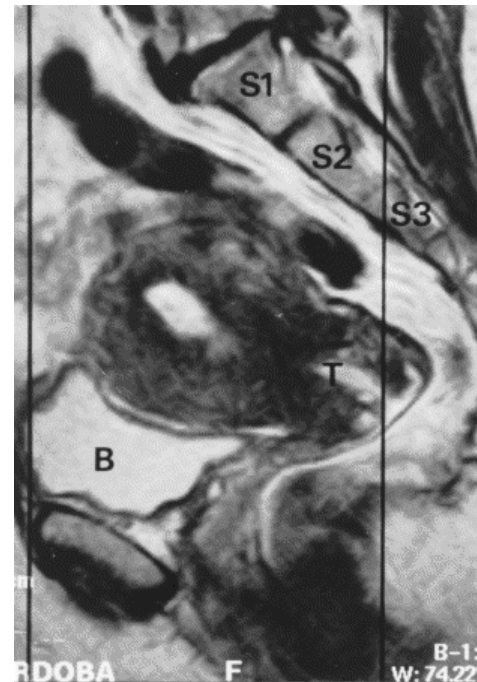
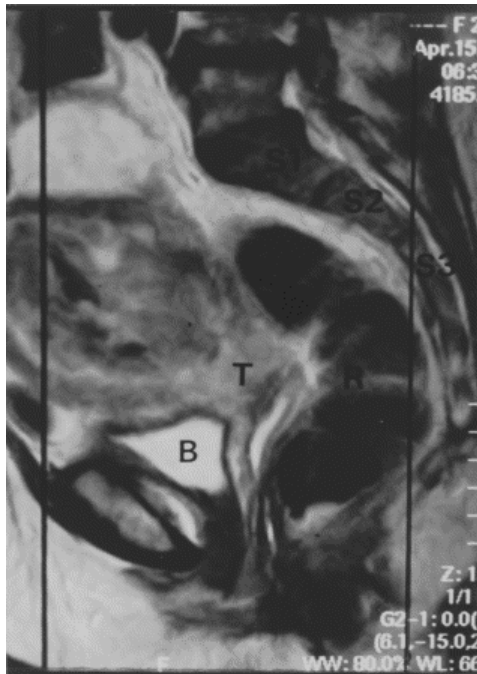


EORTC 22 961

Rectal cancer located in the middle rectum



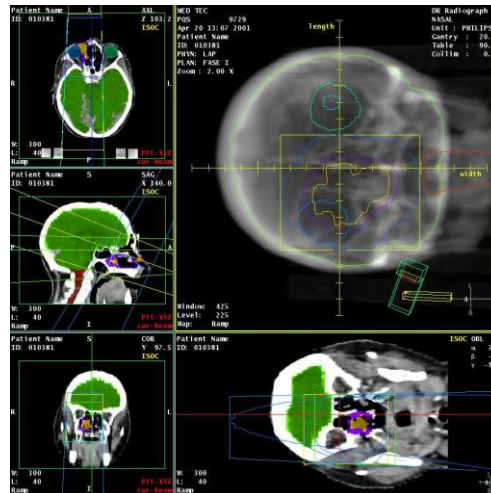
Anatomic study of the pelvis in carcinoma of the uterine cervix as related to the box technique



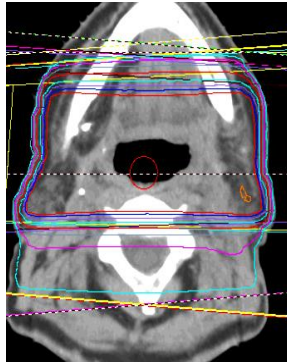
Zunino S. IJROBP 1999; **44**:1 : 53-59

CT-Simulation

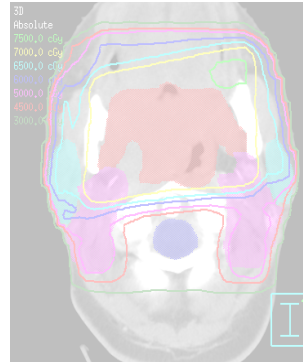
- Geometric planning
- Treatment verification



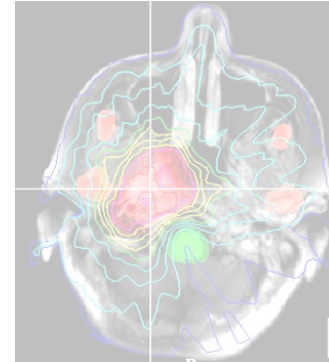
Different forms of RT



2D RT

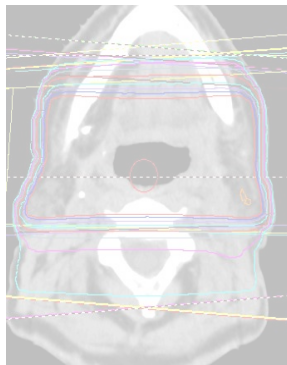


3D CRT

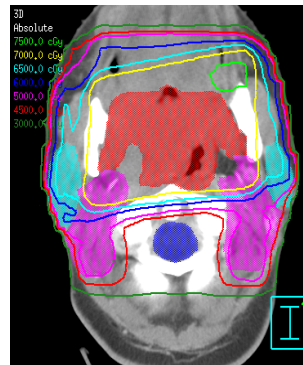


IMRT

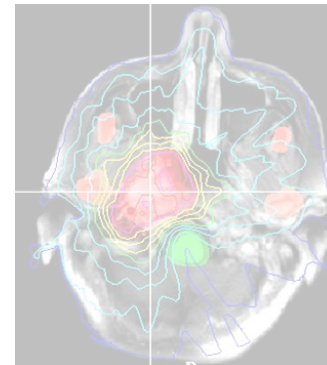
Different forms of RT



2D RT

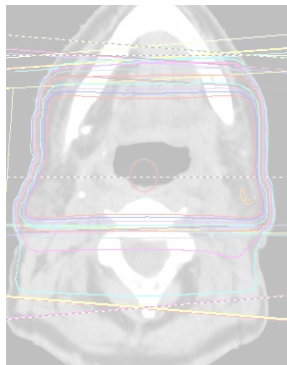


3D CRT

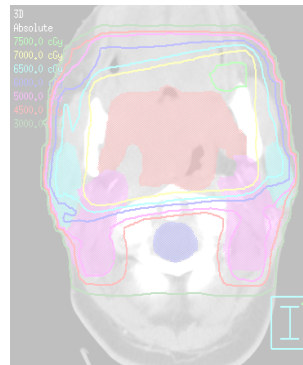


IMRT

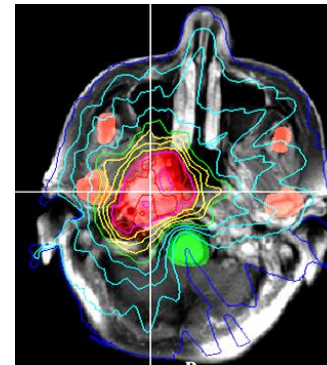
Different forms of RT



2D RT

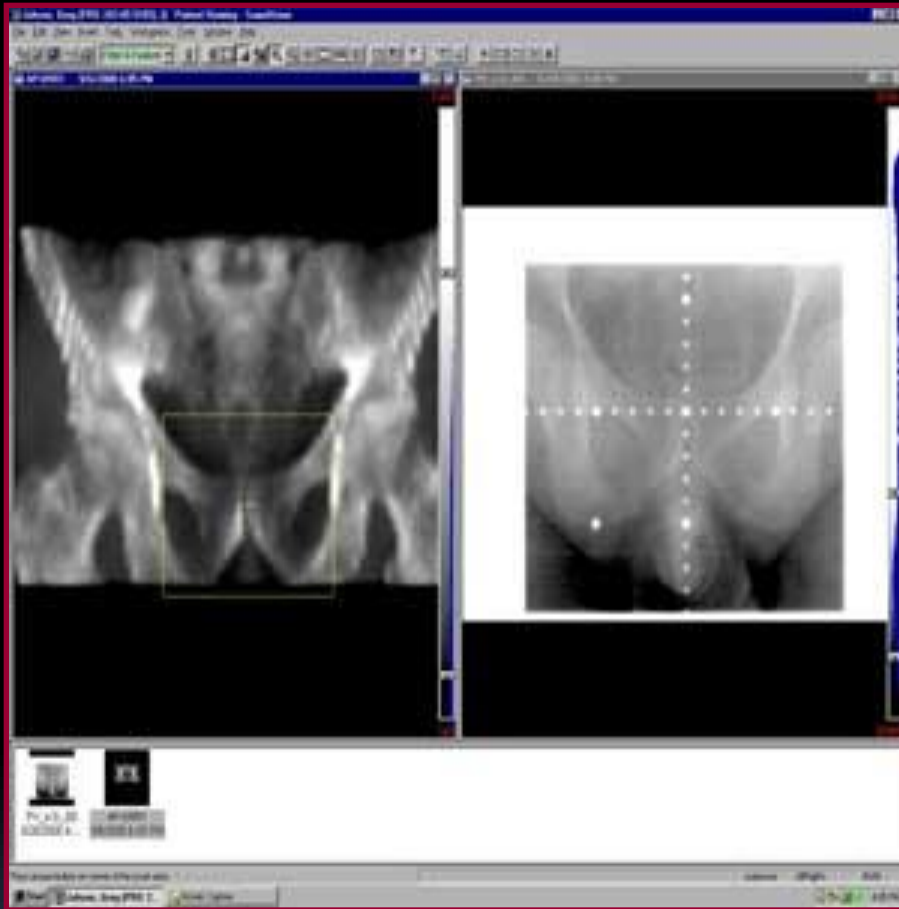


3D CRT



IMRT

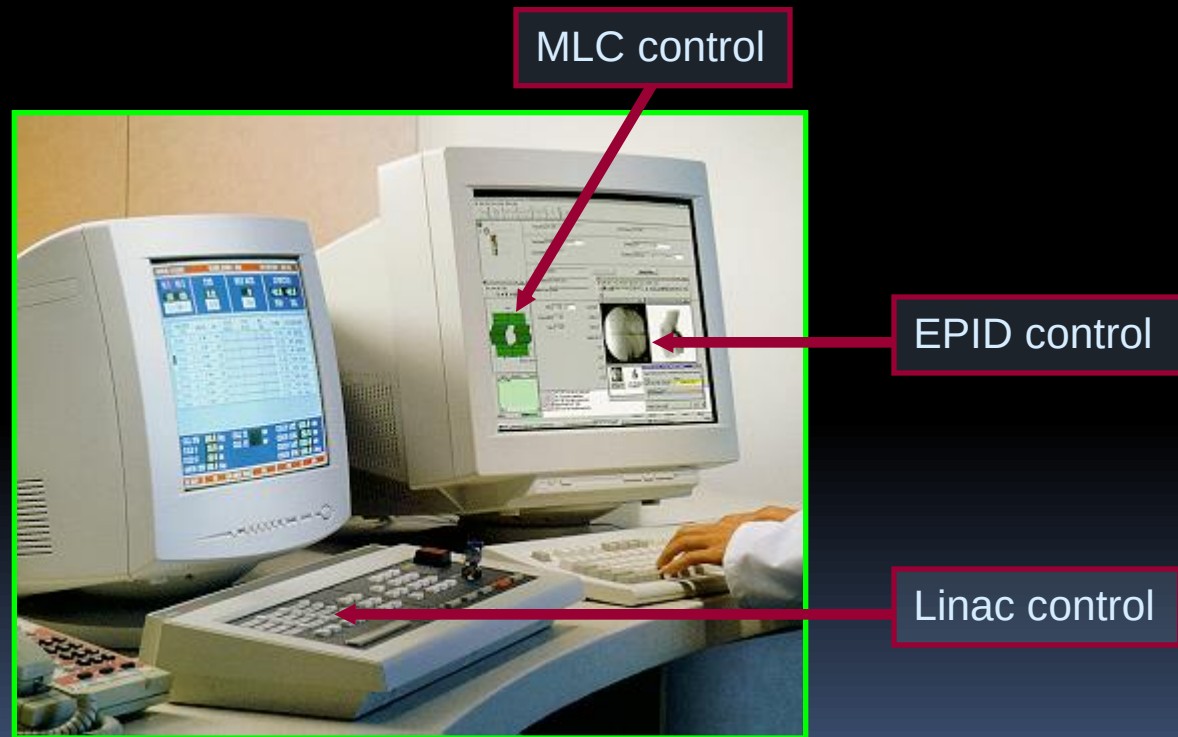
Imagen electrónica portal

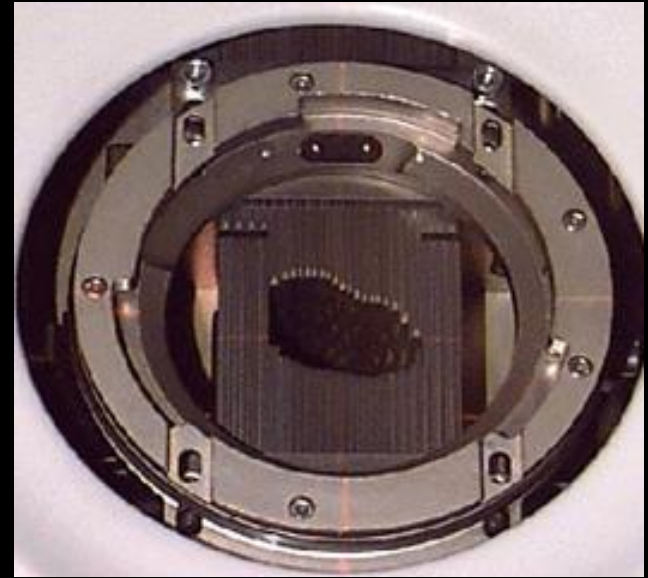


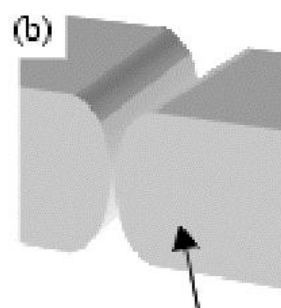
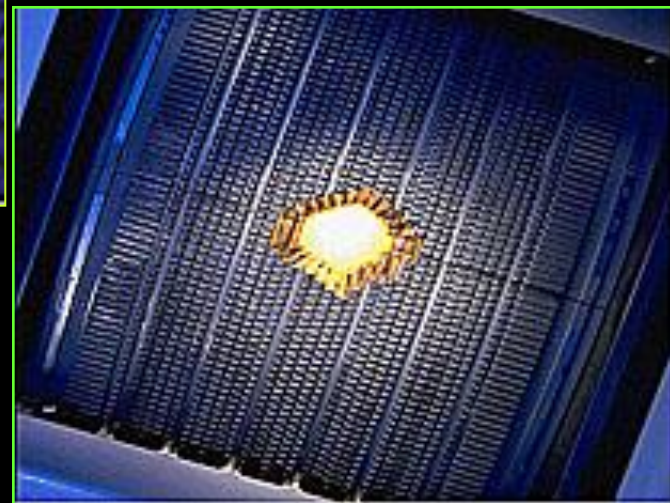
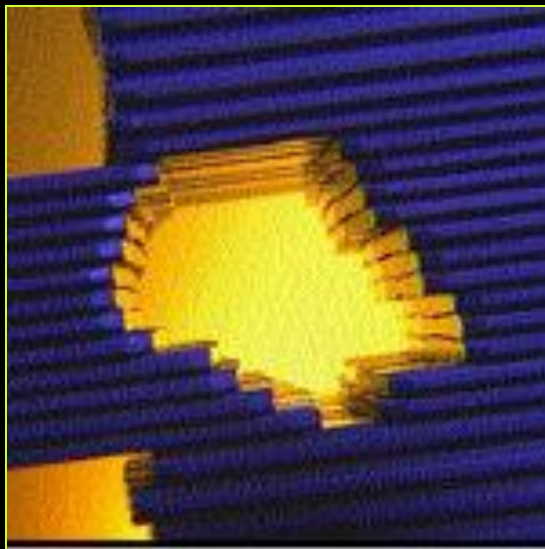
Comparación de imágenes: de simulador o DRR y EPID

Aceleradores de electrones

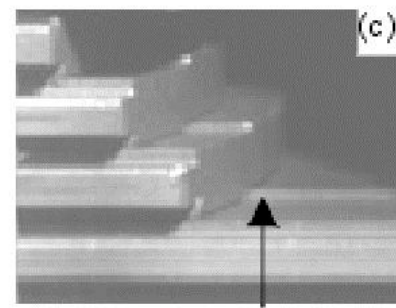
- Sistema de mando complejo
- Dependencia de las computadoras







rounded tip



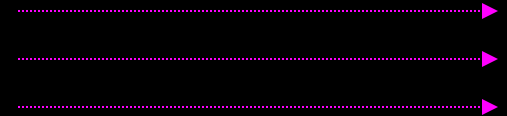
tongue and groove

BRAQUITERAPIA

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

ISOTOPOS ENCAPSULADOS

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



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

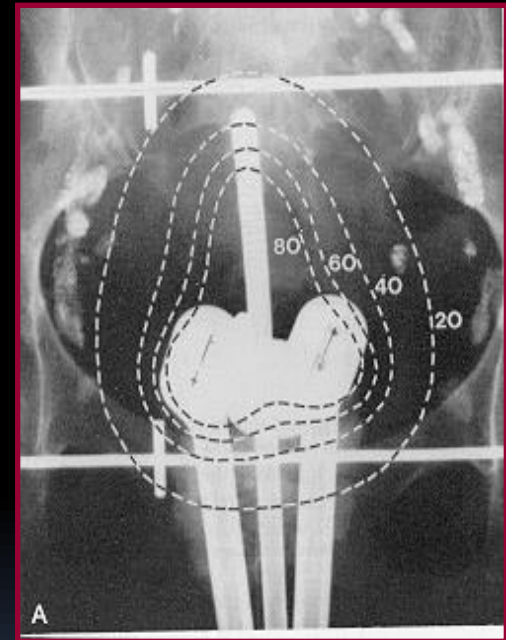


Braquiterapia

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

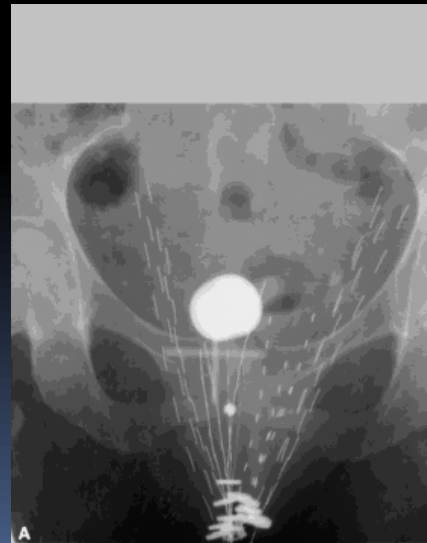
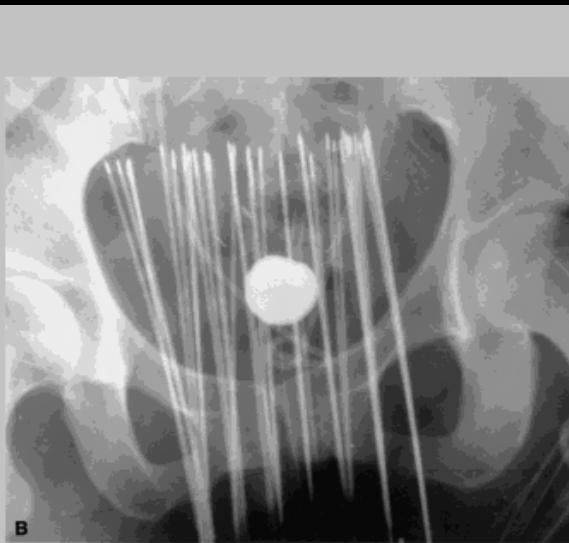
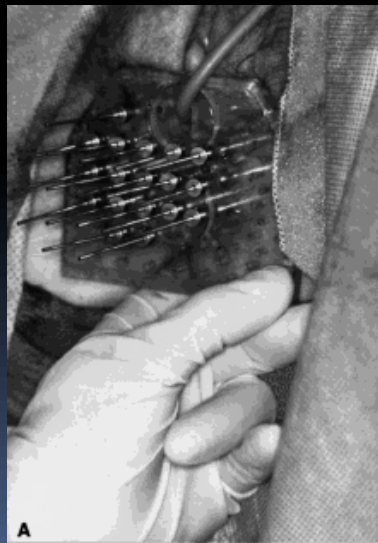
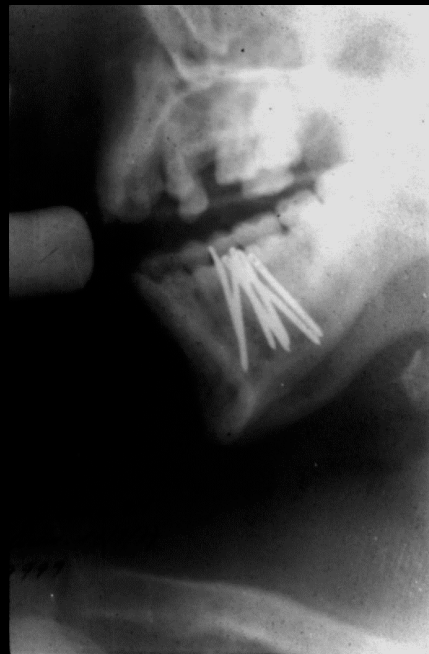
Remota

- 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

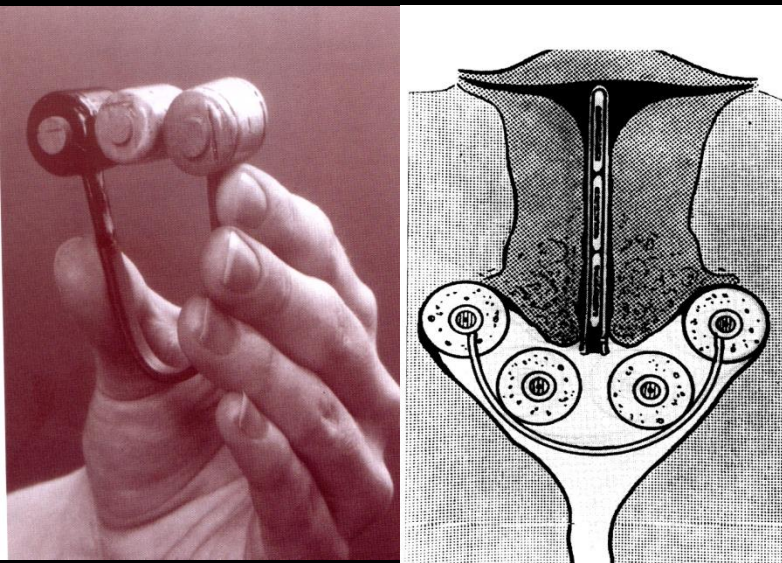


- CARGA DIRECTA
- CARGA DIFERIDA MANUAL
- CARGA DIFERIDA REMOTA

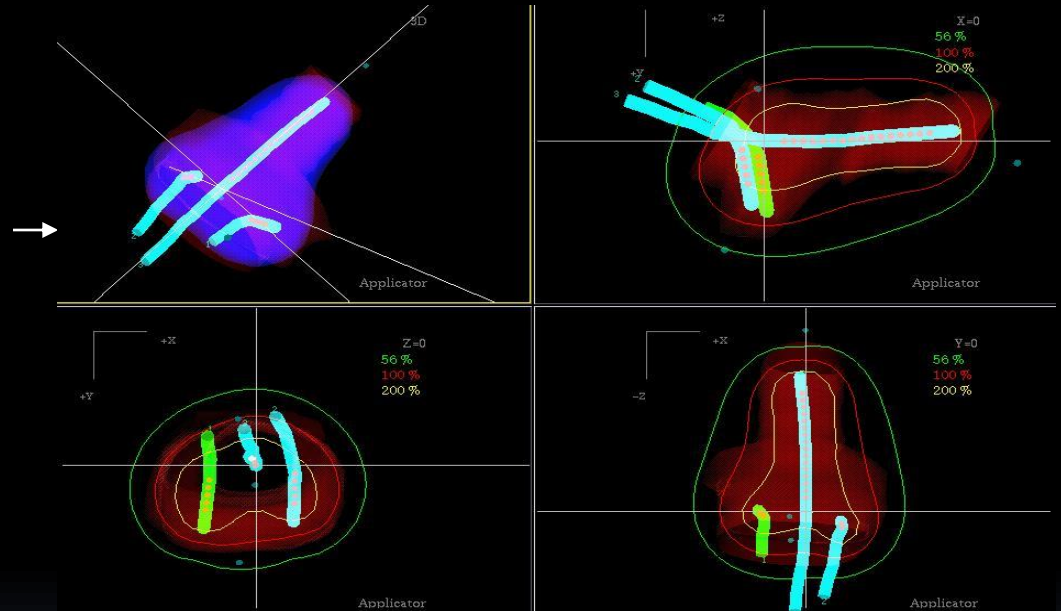




EVOLUCIÓN DE LA BRAQUITERAPIA GINECOLOGICA



1950/60



HOY

Equipos de Braquiterapia HDR

Microselectron



Equipos de Braquiterapia HDR

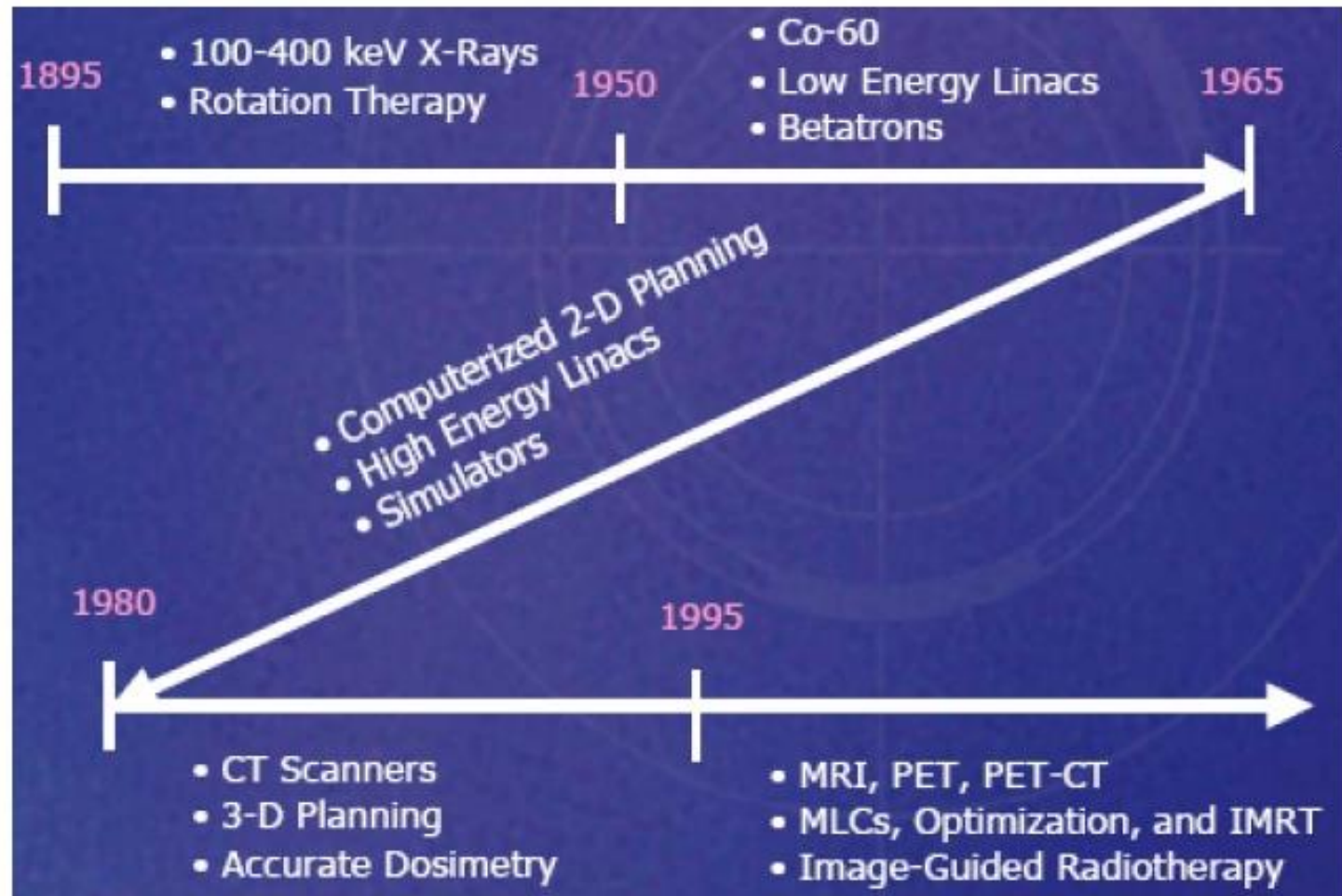
Gammamed



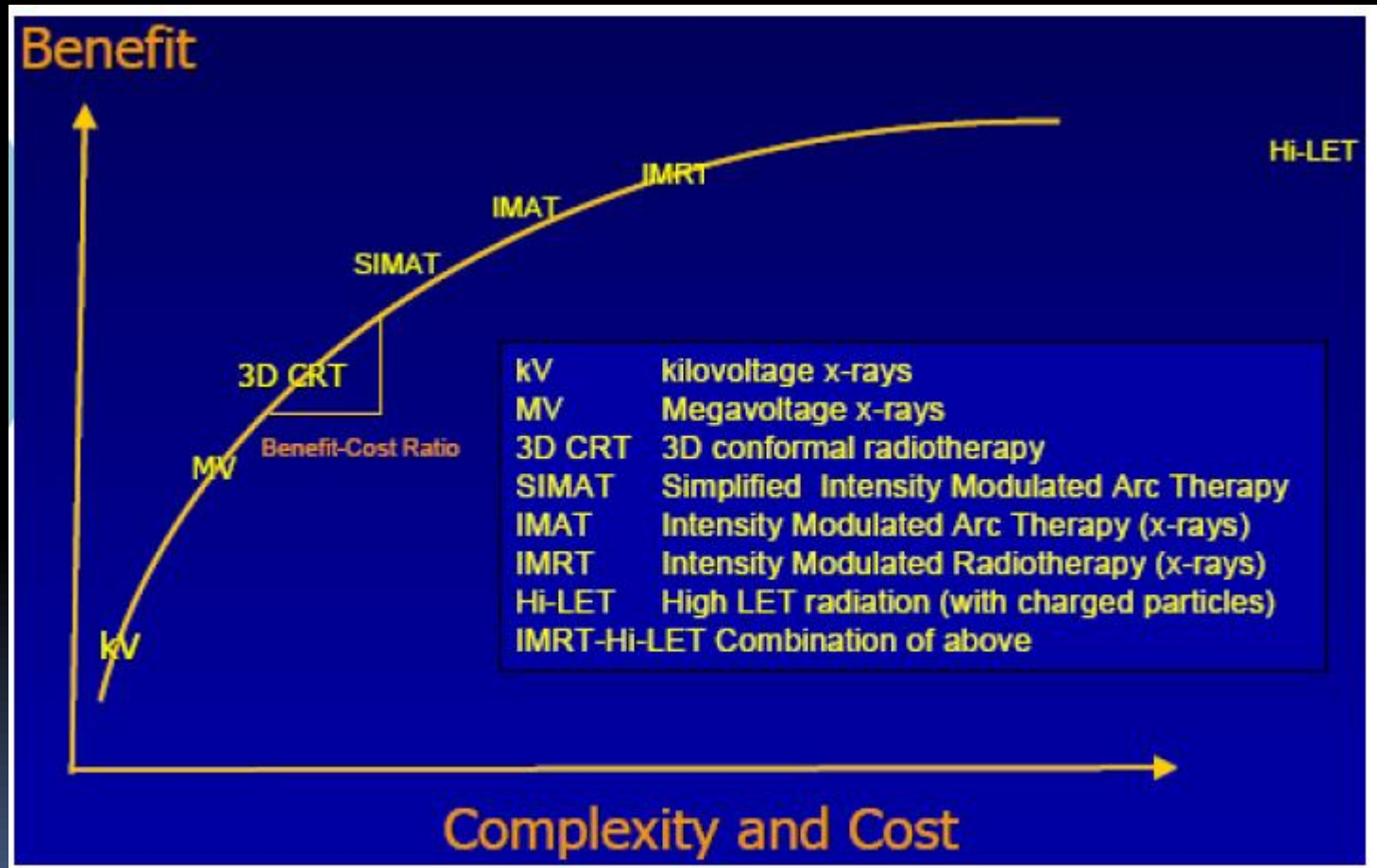
MULTISOURCE - Bebig



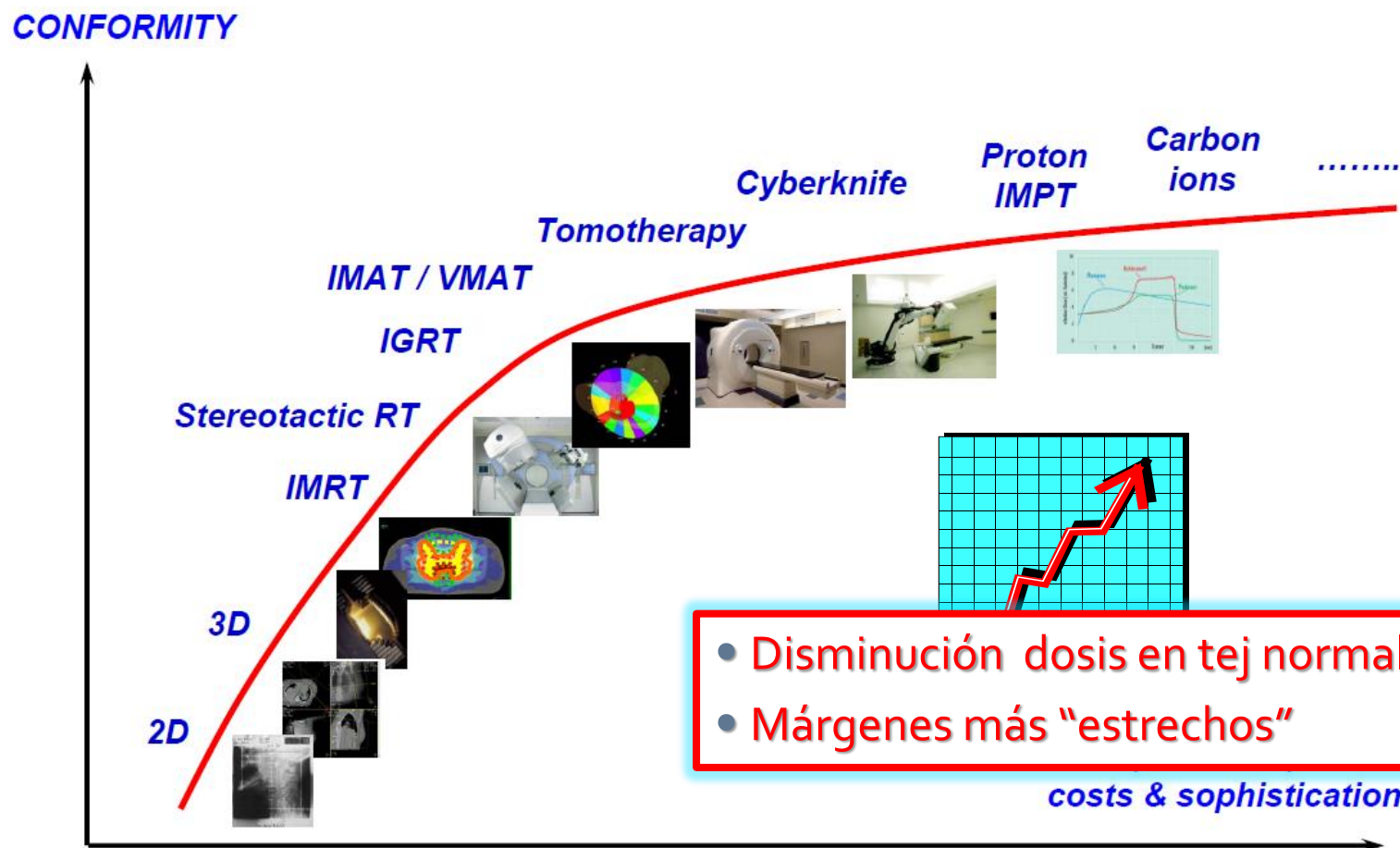
LÍNEA HISTÓRICA DE LA RADIOTERAPIA



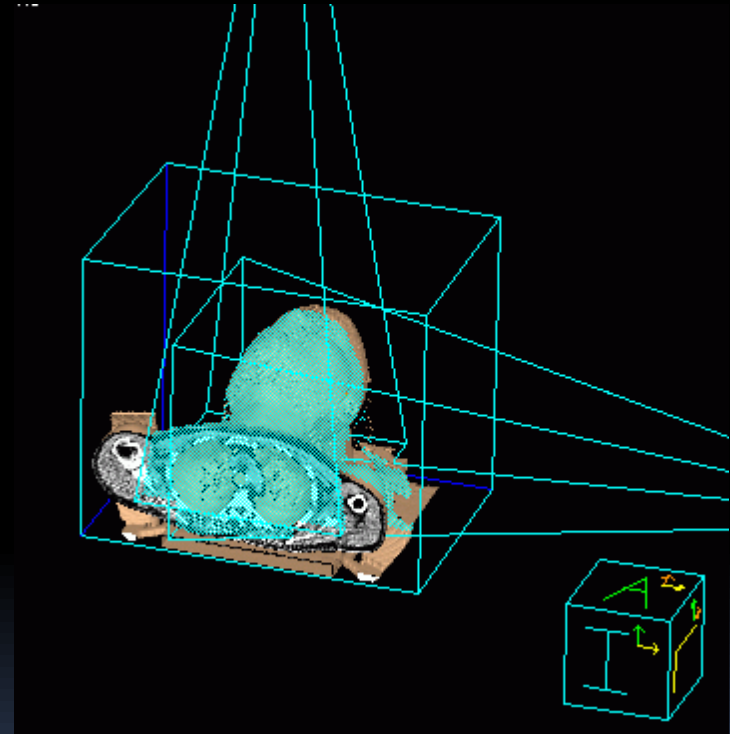
EVOLUCIÓN DE LA RADIOTERAPIA CON EL AVANCE TECNOLÓGICO



EVOLUCION TECNOLOGICA DE LA RT MODERNA

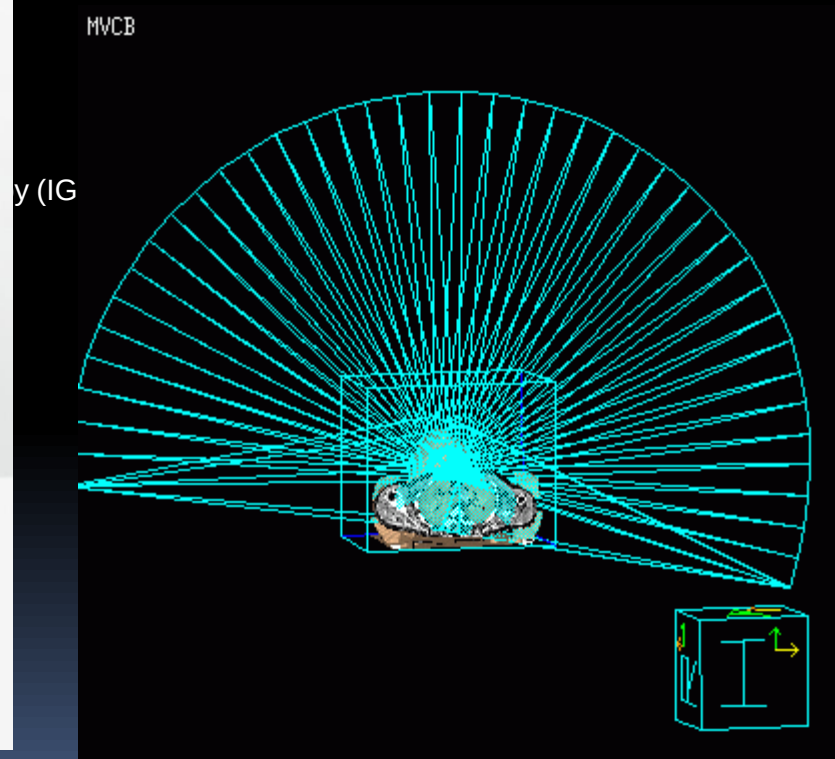


ALE con imagen Portal



ALE con IGRT

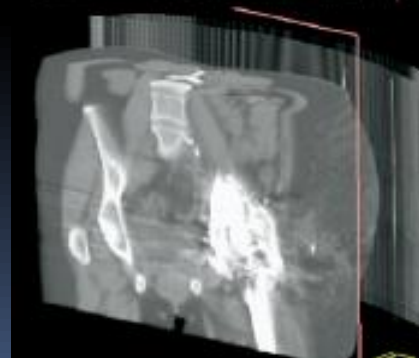
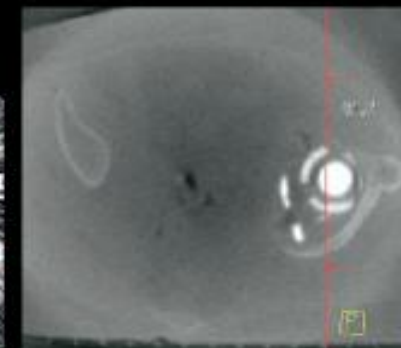
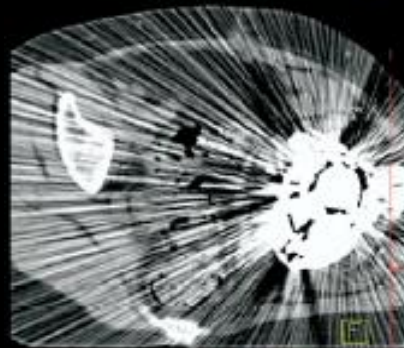
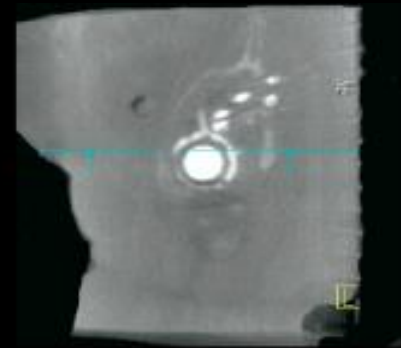
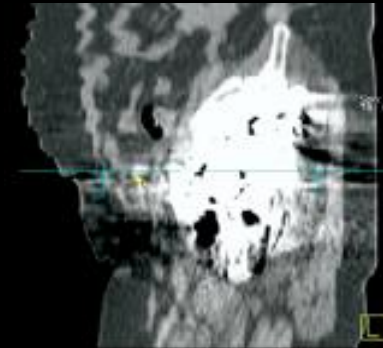
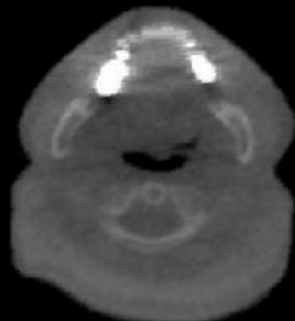
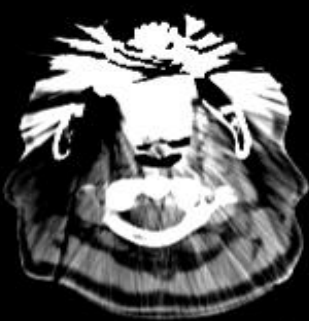
- Radioterapia Guiada por Imágenes (IGRT)





kV CT

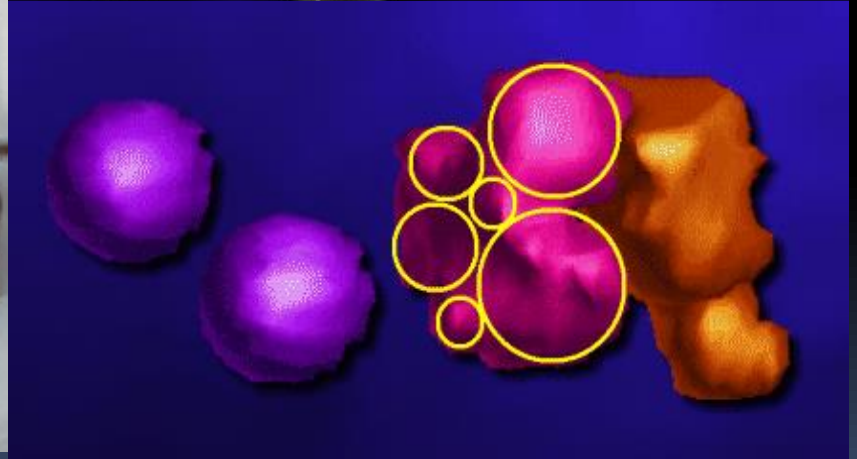
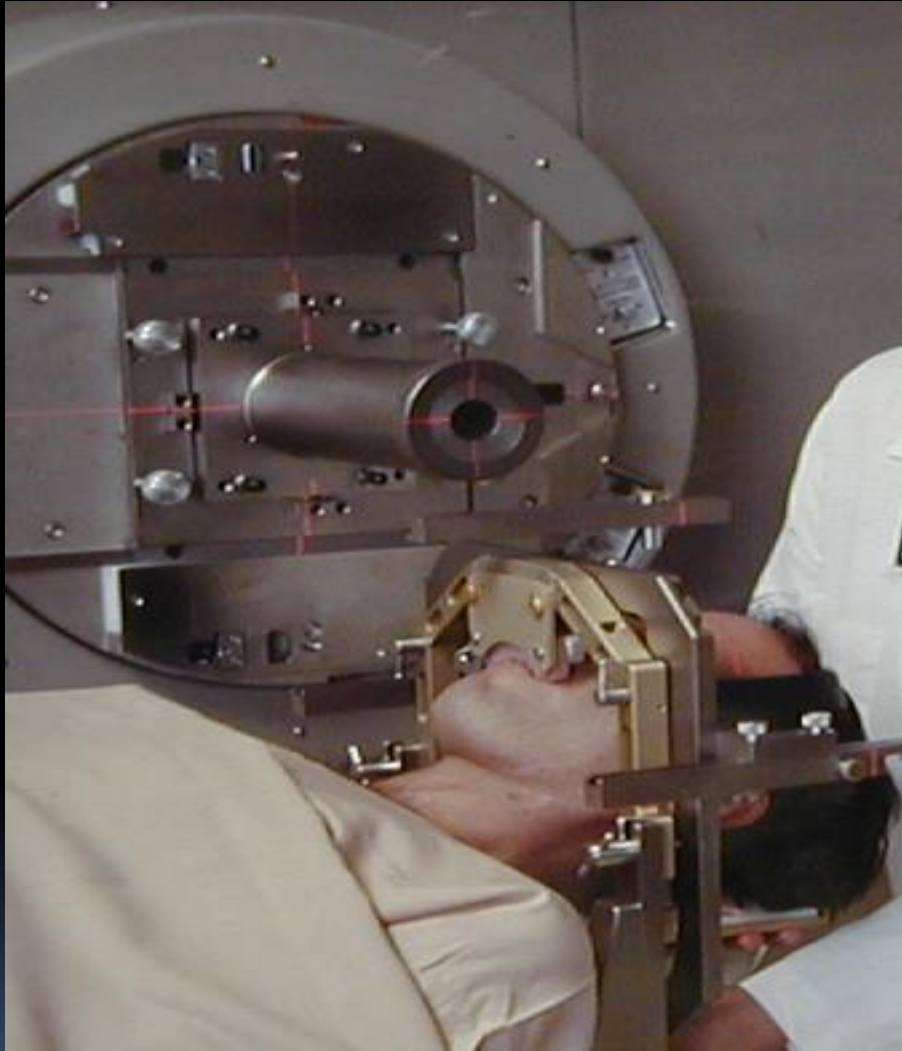
MVCB CT



Radioneurocirugía

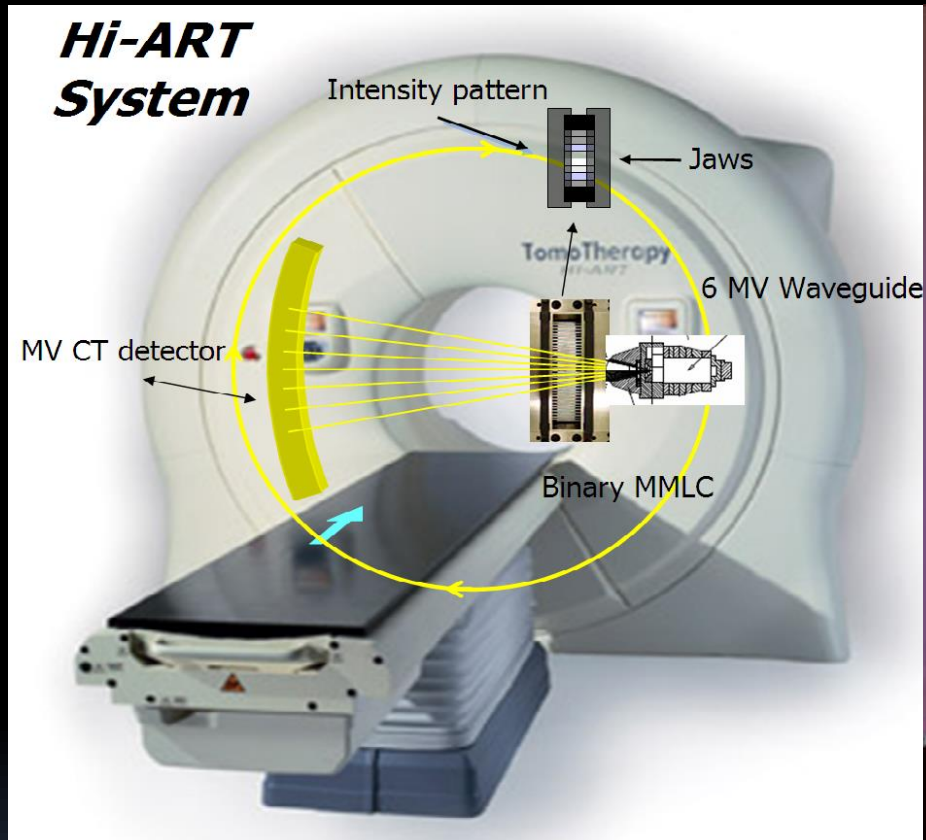
GammaKnife:
201 ^{60}Co de 30Ci

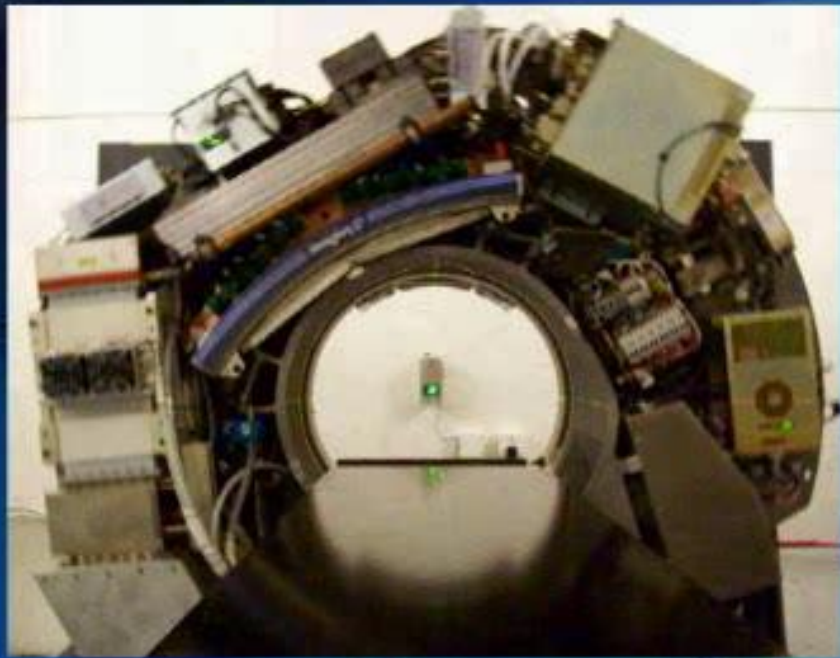






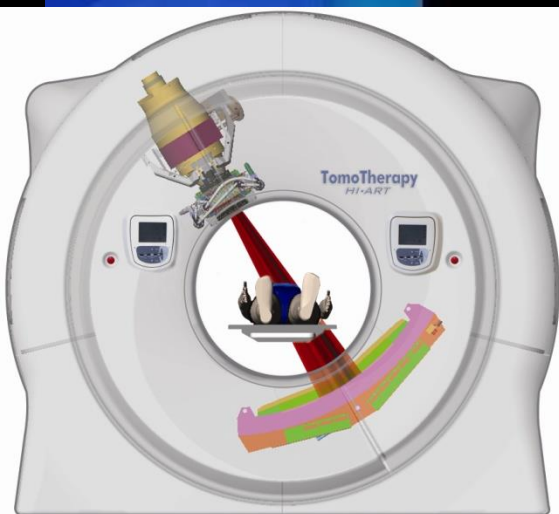
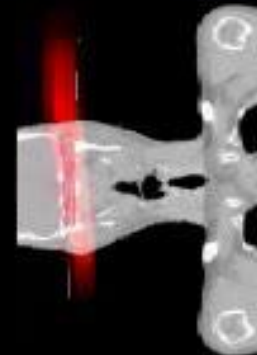
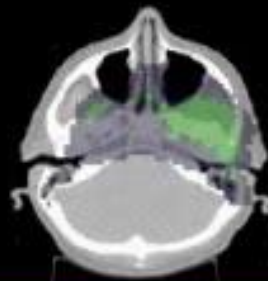
TOMOTERAPIA



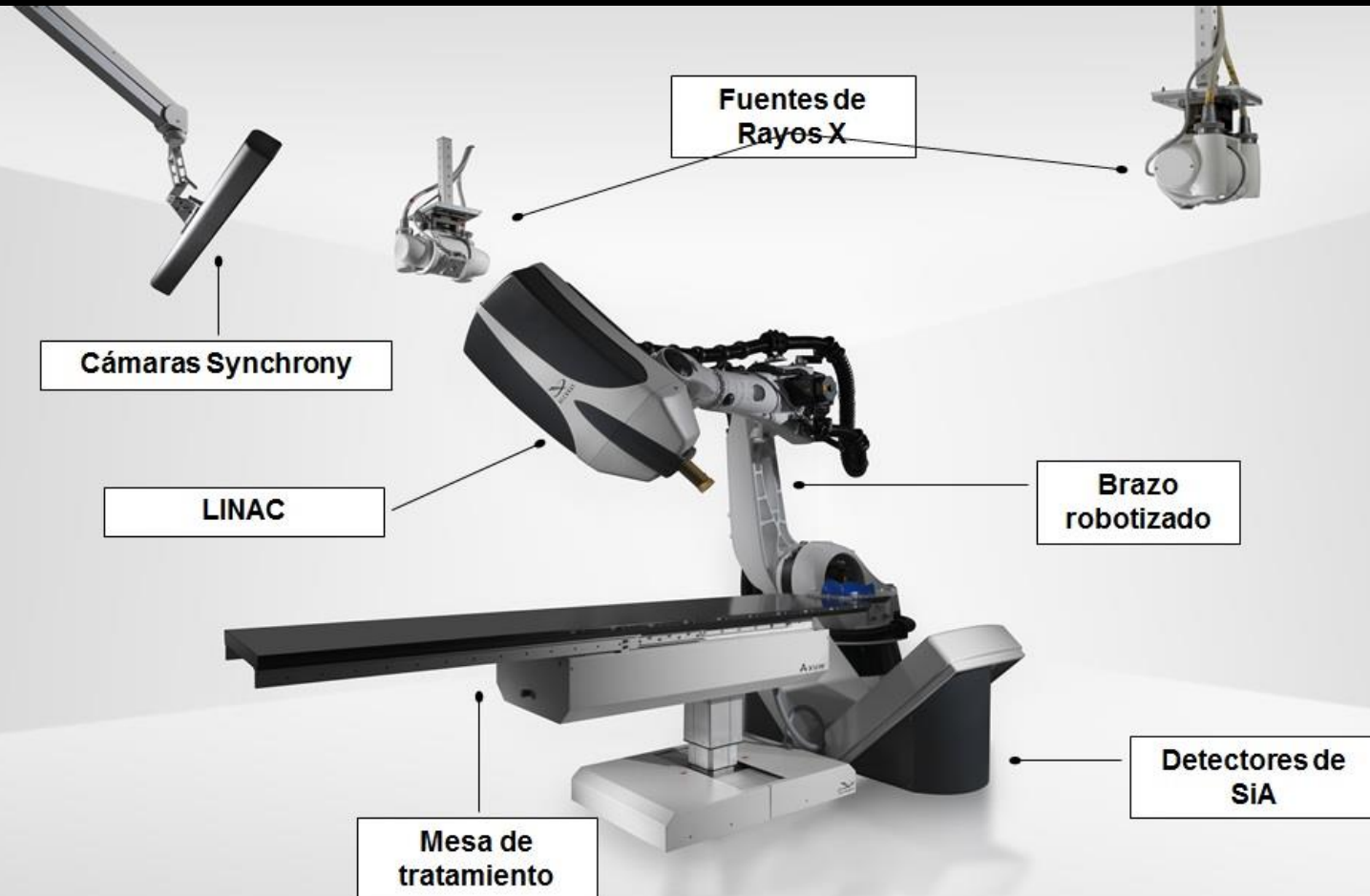


TomoTherapy
Hi-ART

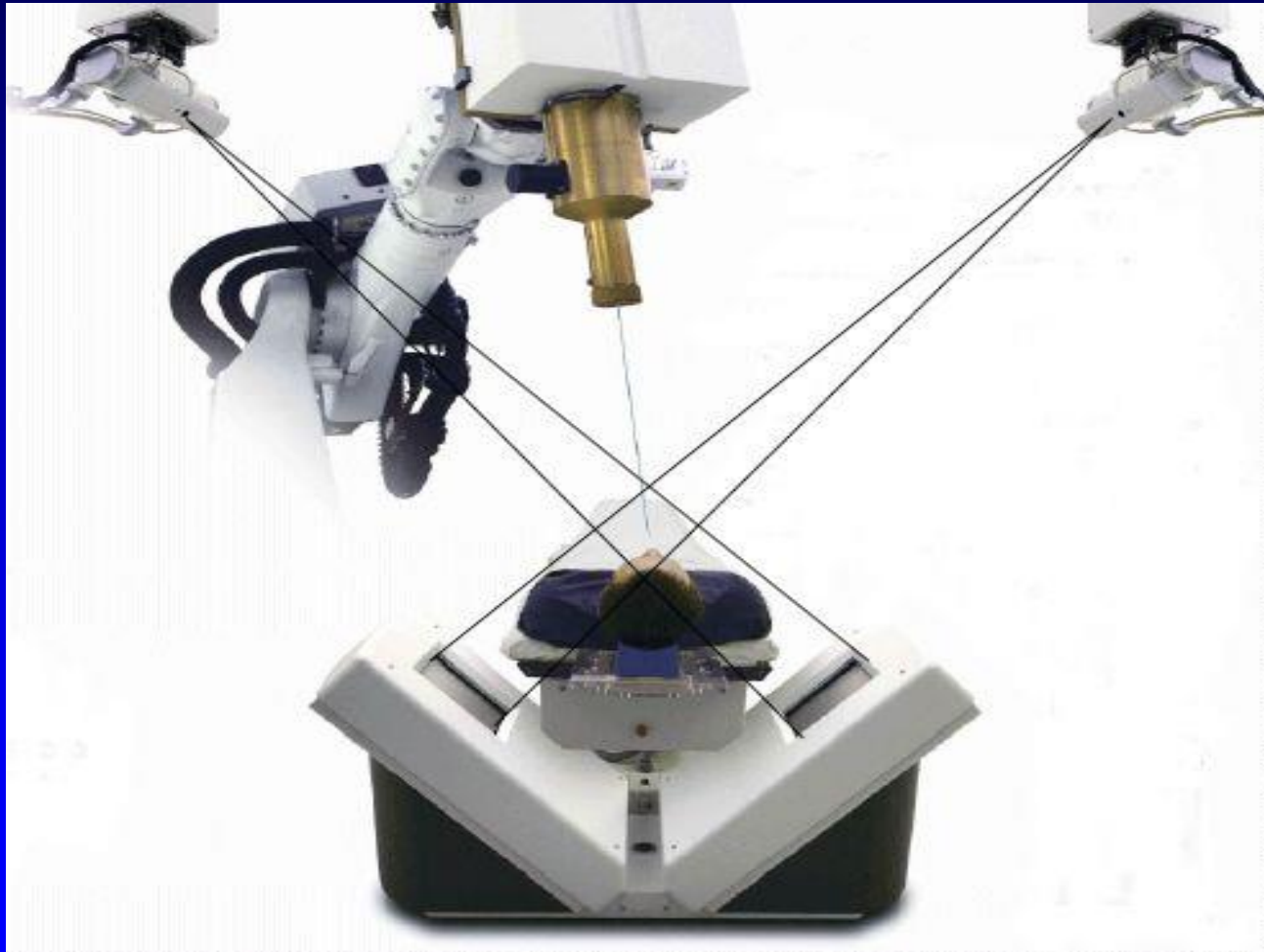
66 62.7 59.4 52.8 46.2 33 19.8



Cyberknife



CyberKnife - Accuray

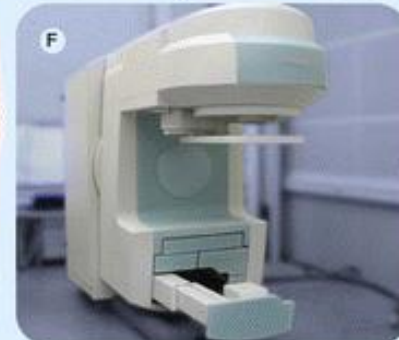
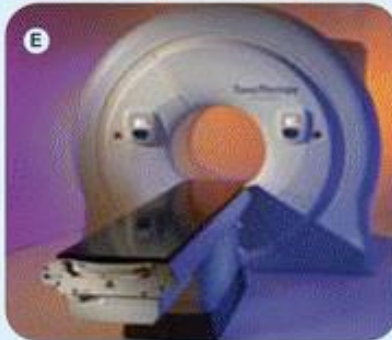
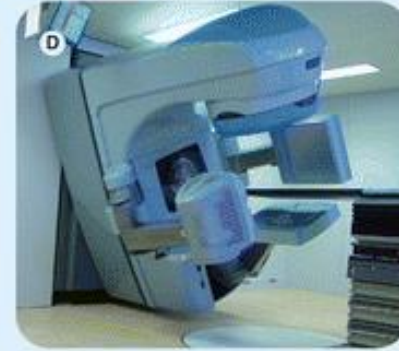
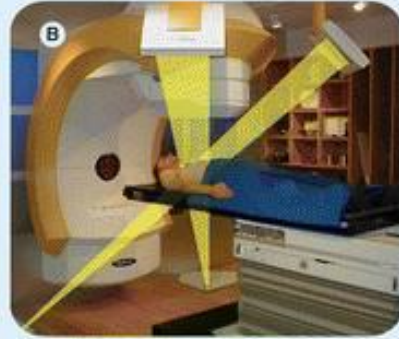


In room imaging

POR QUE ? O PARA QUE?

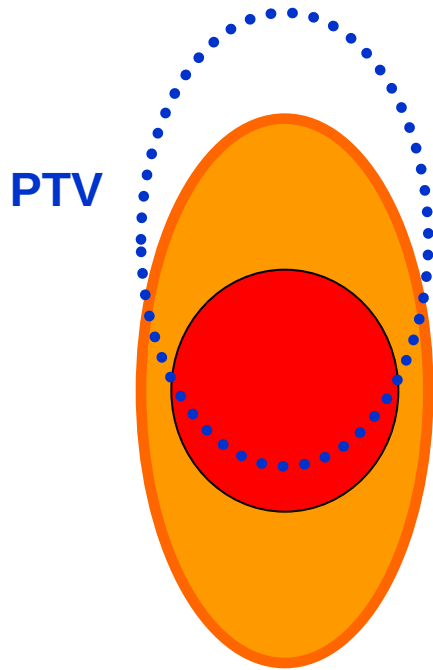
Para mejorar la precision y reducir margenes

- Esto permite escalar las dosis tumorcidas y limitar major las dosis a organos a riesgo
- Mejora la relacion terapeutica (therapeutic ratio)

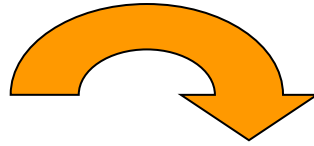


Correccion de errores

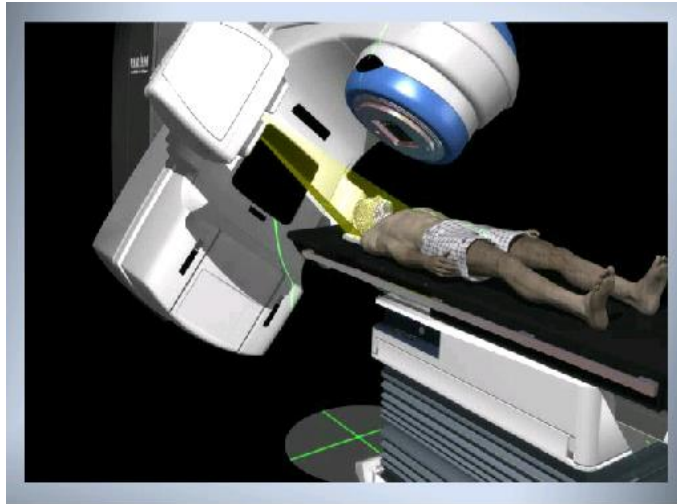
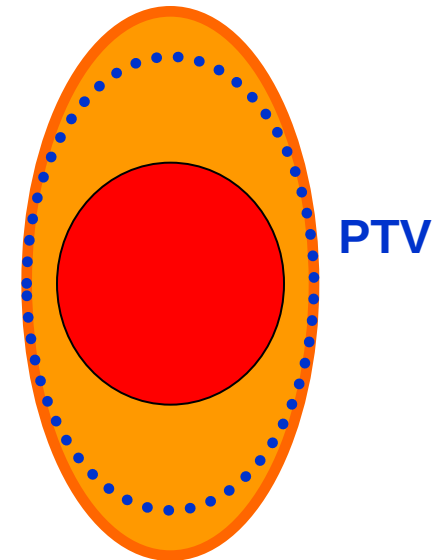
Sistematicos



1 min.

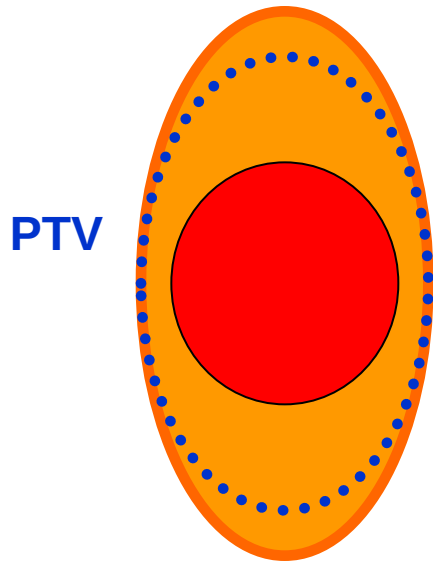


Aleatorios

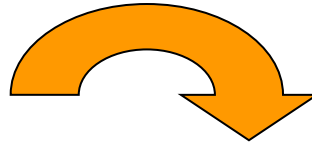


Correccion de errores

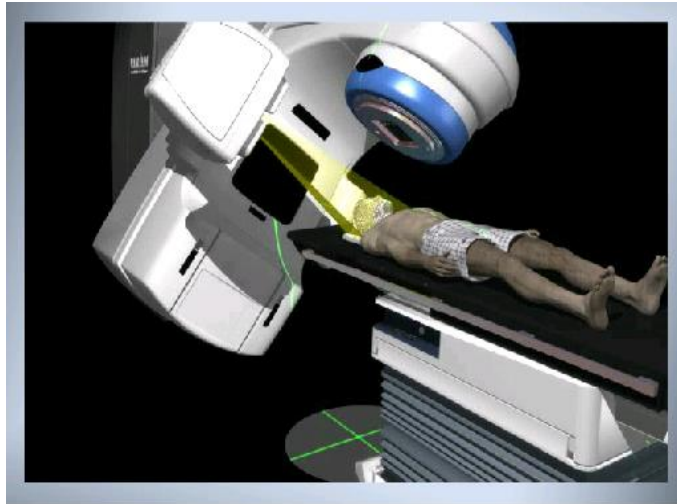
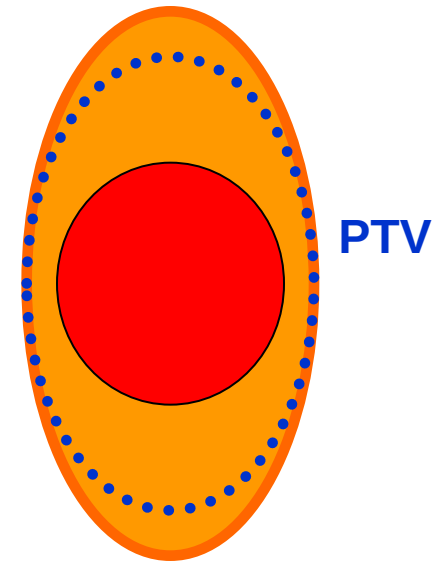
Sistematicos

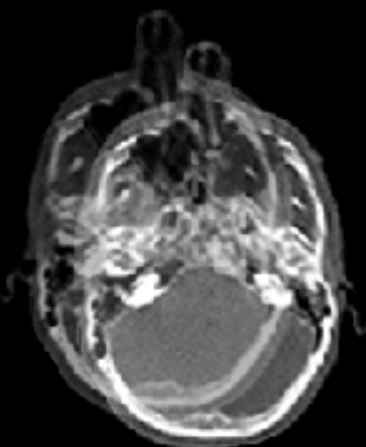


1 min.

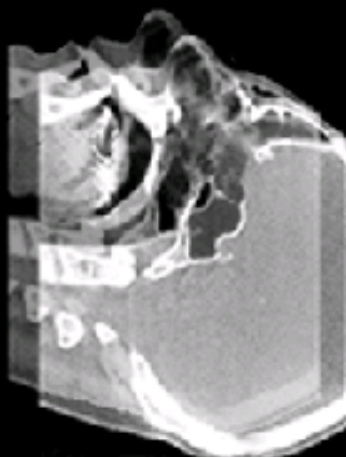


Aleatorios





05/15/2003
8:15 am



05/15/2003
8:15 am

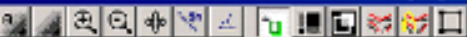


05/15/2003
8:15 am

Couch Shift

	PLAN	ACTUAL	SHIFT	
Couch Ypr	120.0	120.0	0.0	☒ Include
Couch Yng	110.0	110.0	0.0	☒ Include

	PLAN	ACTUAL	SHIFT	
Couch Lat	100.0	100.0	0.0	☒ Include
Couch Rtn	180.0	180.0	0.0	☐ Include

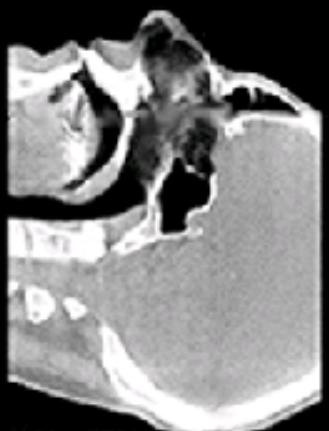


View List

☒ Show Reference Images☐ Image Grayscale

View Data

Anderson, George

Setup Verification Mod
- Cone Beam CT -05/15/2003
8:15 am05/15/2003
8:15 am05/15/2003
8:15 am

Couch Shift

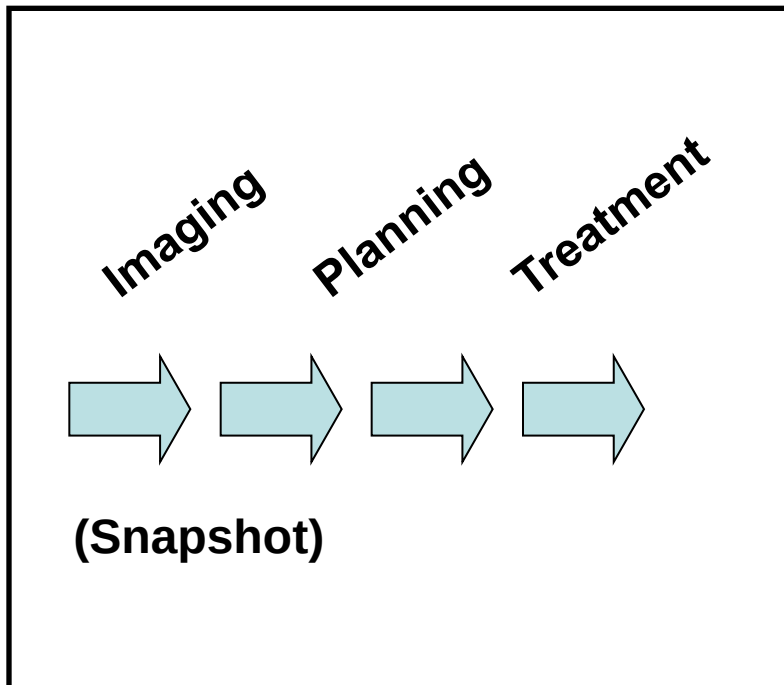
	PLAN	ACTUAL	SHIFT		
Couch Vrt	120.0	120.0	+0.7	☒	Include
Couch Lng	110.0	110.0	+0.5	☒	Include

	PLAN	ACTUAL	SHIFT		
Couch Lat	100.3	100.3	+0.4	☒	Include
Couch Rtn	180.0	180.0	+0.1	☐	Include

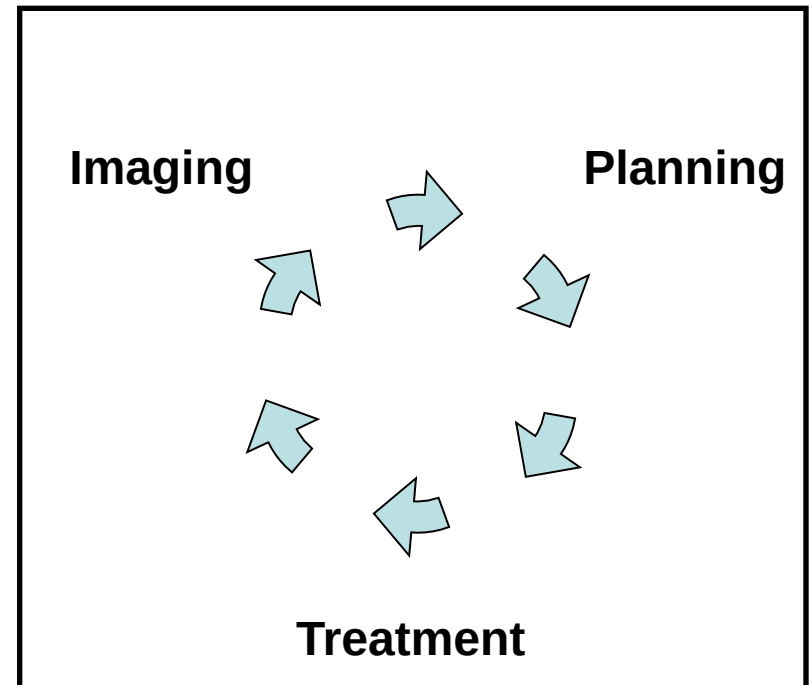
ART: Adaptive Radiotherapy

Yan 1997: A radiation treatment process where the treatment plan can be modified using a systematic feedback of measurements

Conventional



ART

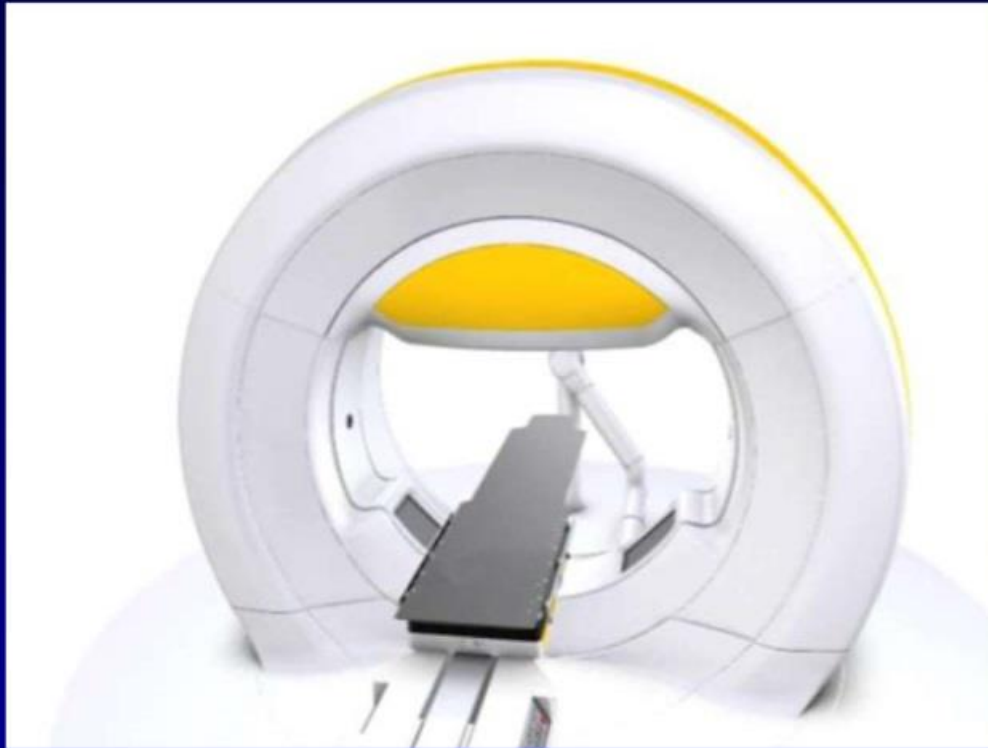


MAQUINAS “HIBRIDAS”



Vero

VERO system (BrainLab/MHI) (O-ring design)



BrainLab/MHI VERO Platform:

C-band Linac 6MV

Gantry rotation : $[-185^{\circ}, 185^{\circ}] \pm 1^{\circ}$

O-ring rotation : $[-60^{\circ}, 60^{\circ}] \pm 1^{\circ}$

Isocenter accuracy : ± 0.5 mm / 0.1 mm (with tilt comp.)

Gantry bore : 125 cm at mMLC, 200 cm elsewhere

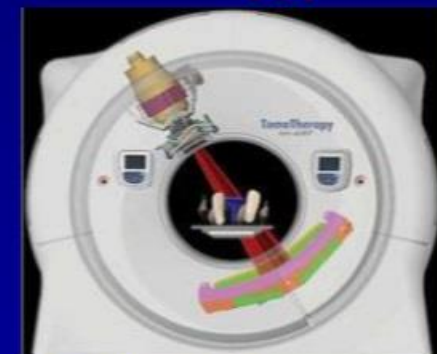
Couch : 5D (lat, long, vert, roll, pitch) ± 0.1 mm (6th degree by O-ring)

"Classic" platform



C-arm (360°)

Tomotherapy platform



**CT-like ring
(helical)**

Imagen volumetrica con kV

Varian Trilogy



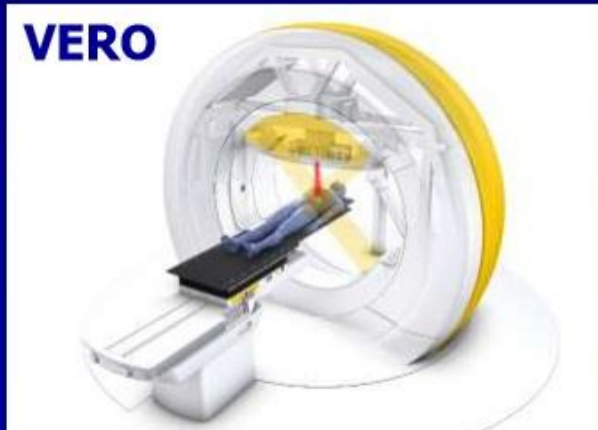
Varian Truebeam



Elekta Synergy



VERO



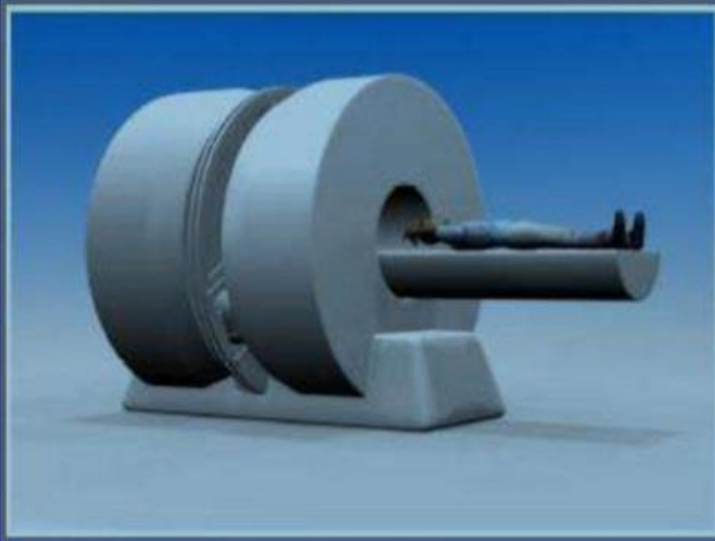
Dosis en ptes debida a IGRT

	Head and neck	Body
MV (EPID)	3-5 cGy	3-5 cGy
MV CBCT	2 cGy	5-9 cGy
MV CT (Tomotherapy)	0.5 cGy	2cGy
Stereoscopic kV imaging (surface dose)	0.05 cGy	0.05 cGy
kV CBCT	1-2 cGy	3-7 cGy



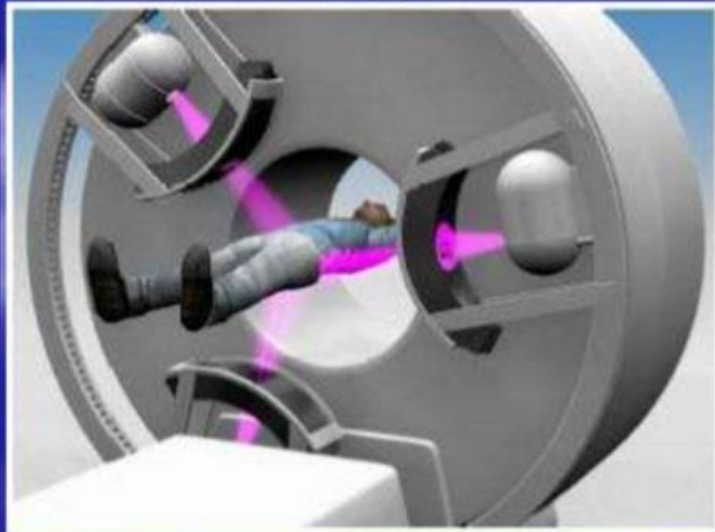
The management of imaging dose during image-guided radiotherapy: Report of the AAPM Task Group 75 Med. Phys. 34 (10), 2007

MRI GUIDED RADIATION THERAPY



Renaissance™ System 1000
ViewRay Inc.

**MR scanner / ^{60}Co
integration**



Kron et al., J Med Phys, 31, 2006

Hybrid MRI-linac (UMC Utrecht)

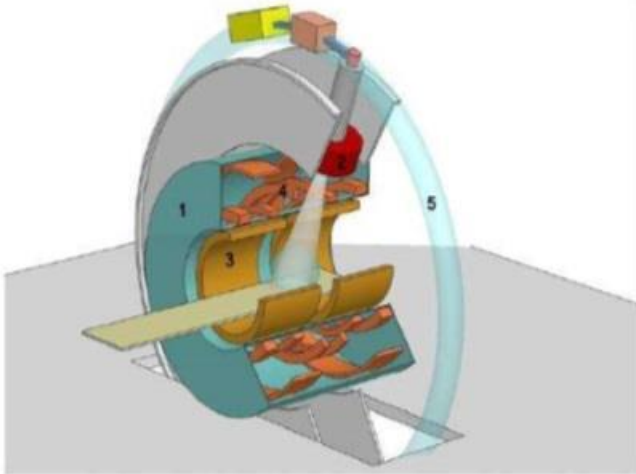
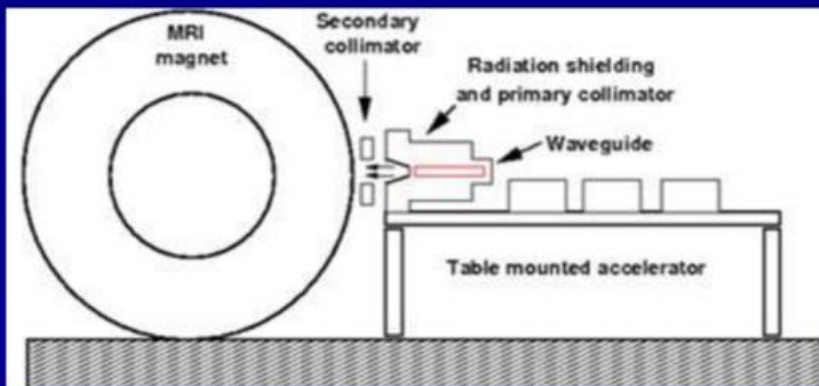


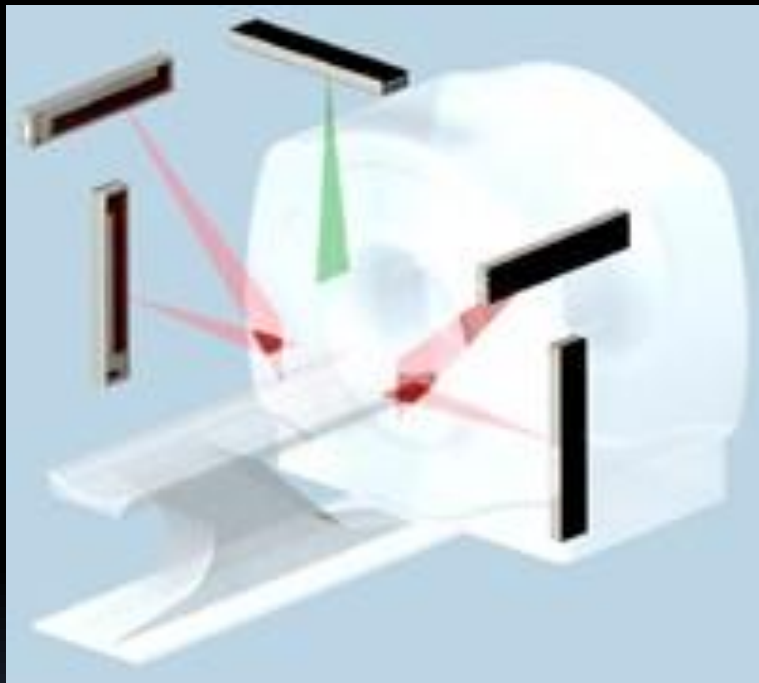
Figure 1. Sketch of the MRI accelerator concept. The 1.5 T MRI is shown in blue (1), the 6 MV accelerator (2) is located in a ring around the MRI. The split gradient coil (3) is shown in yellow and in orange the superconducting coils (4) are shown. The light blue ring around the MRI indicates the low magnetic field toroid (5) in the fringe field.

- **Modified 1.5 T MR scanner (Philips)**
- **6 MV modified Linac (Elekta)**

Prototype in Utrecht



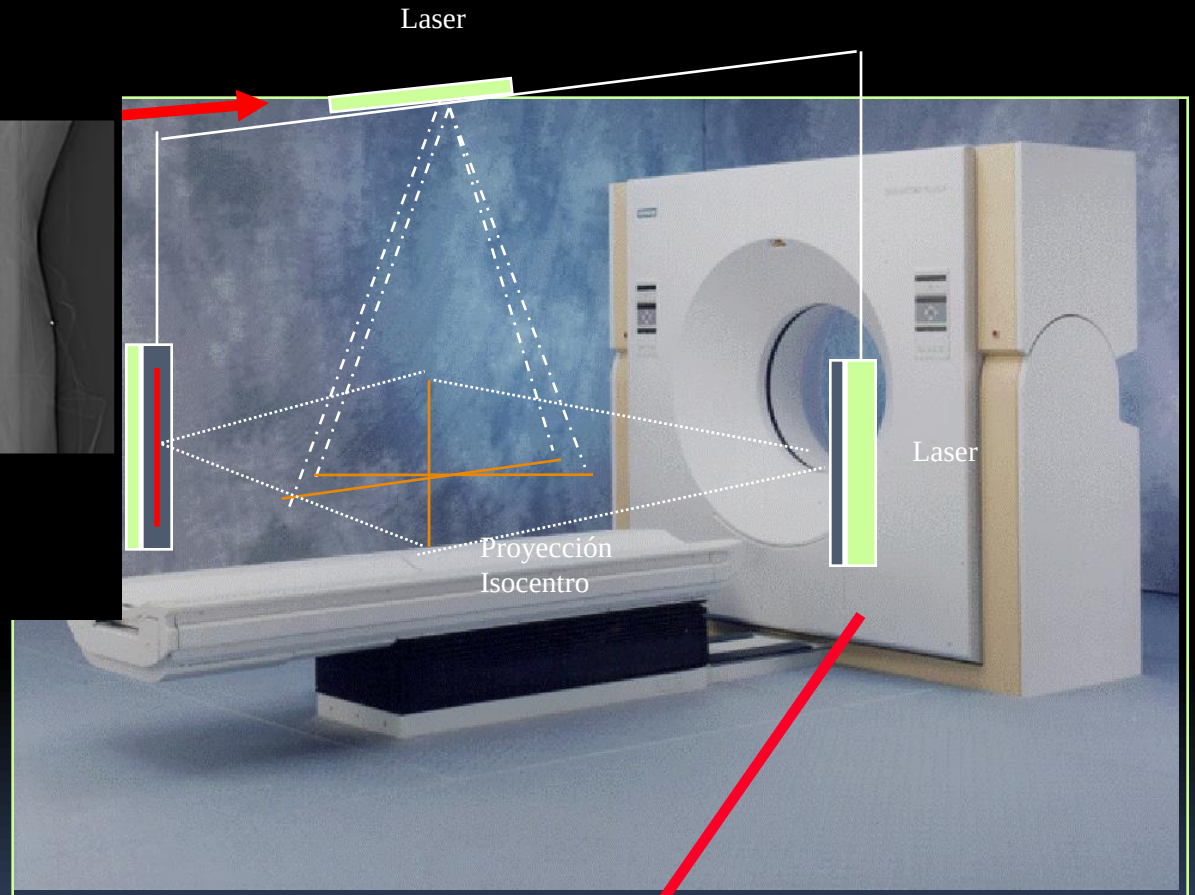
Simulador



CT Simulator



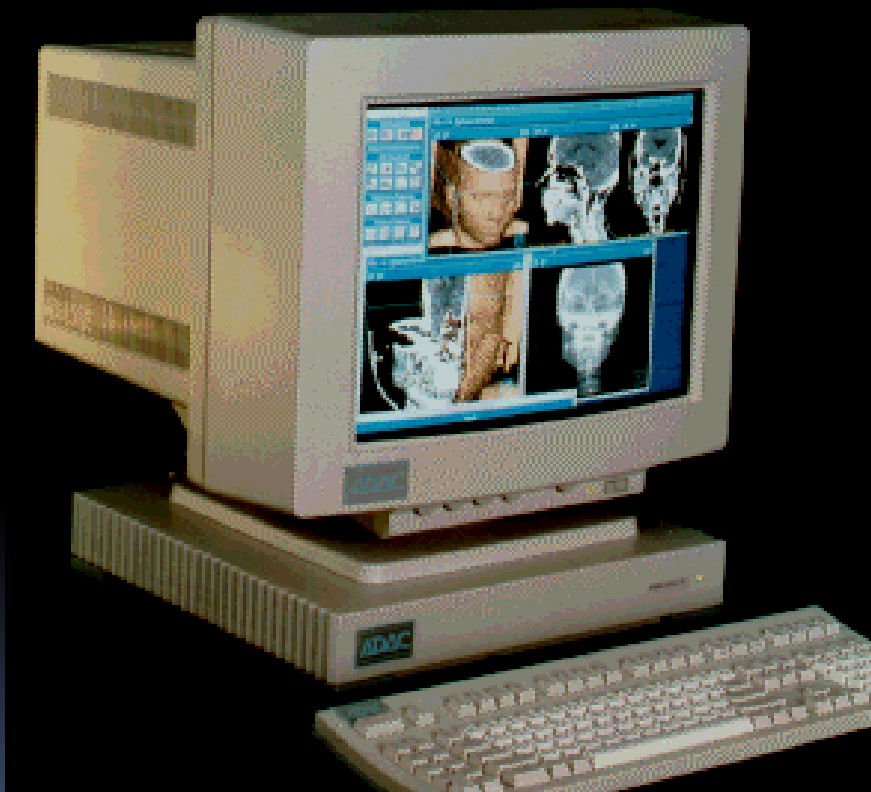
Ver imagen



CT images



Sistema de Planificación de Tratamientos (TPS)



**.....sólo una
computadora con un
software especializado
y complejo!!!!**

!?



- **DICOM** (*Digital Imaging and Communications in Medicine*)
 - Standard (file format and communication protocol)
 - Manufacturers of electro-medicine equipments (ACR-NEMA)
 - Connectivity & Interoperativity of radiological medical equipment.
- **(DICOM-RT)**
 - DICOM protocol specific for RT
 - For external RT, DICOM-RT defines 6 standardized objects

Communications network

- Interface

- Dedicated interface

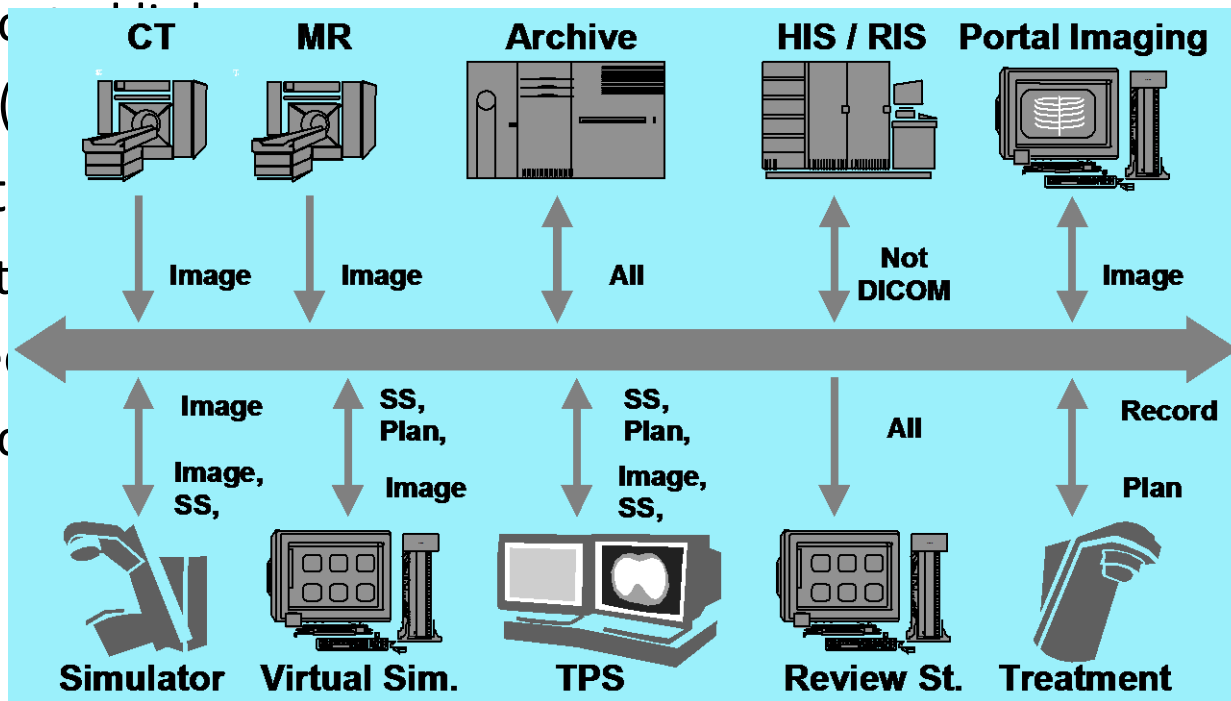
- LAN (local)

- What to

- Ability

- Speed

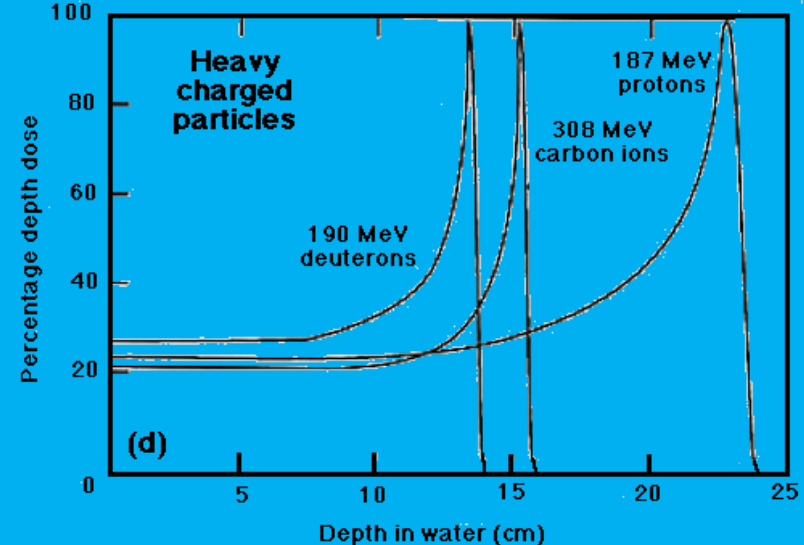
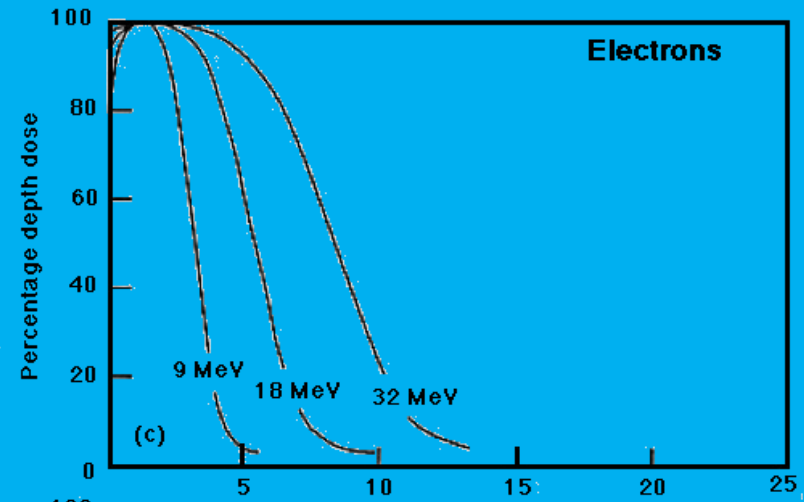
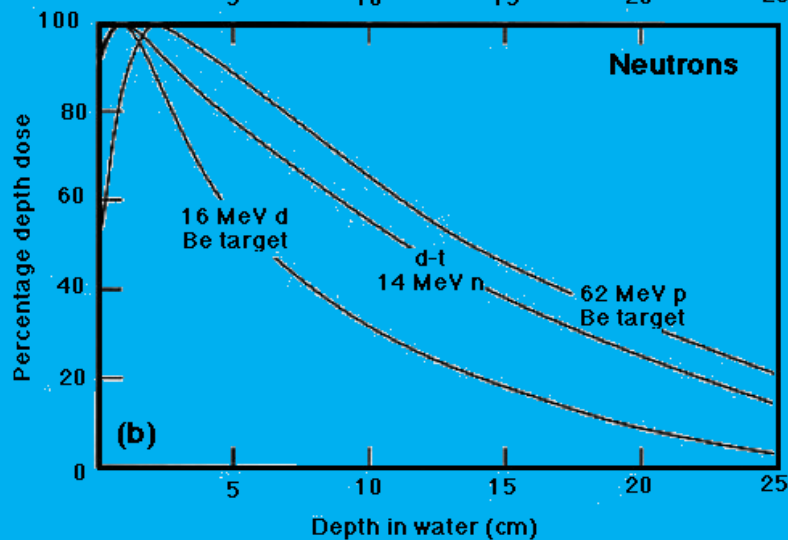
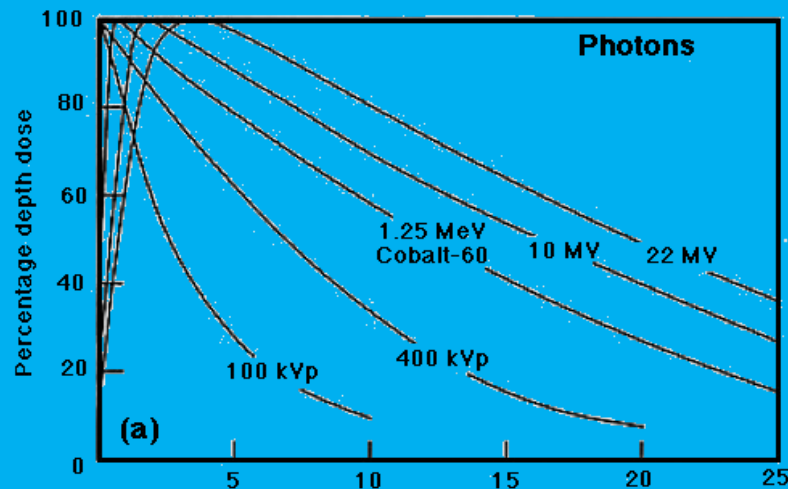
- Cyclic



RADIOTERAPIA CON PARTÍCULAS (PROTONES - NEUTRONES)

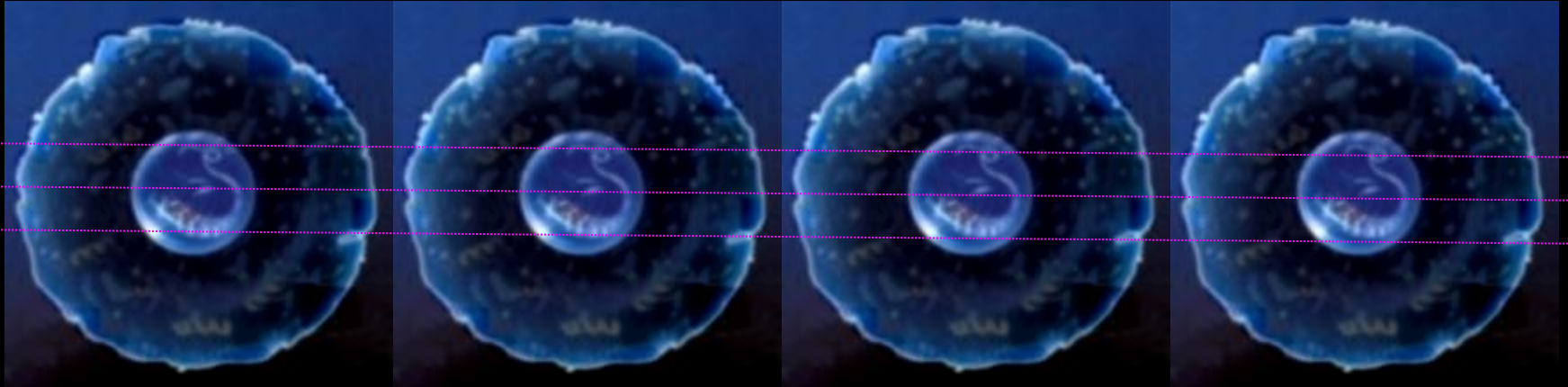
- La radioterapia externa se realiza básicamente con máquinas que producen fotones o electrones.
- En algunos (pocos) centros especializados alrededor del mundo, la RT Externa es llevada a cabo también con partículas pesadas tales como:
 - Neutrones producidos por ciclotrones o generadores de neutrones
 - 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

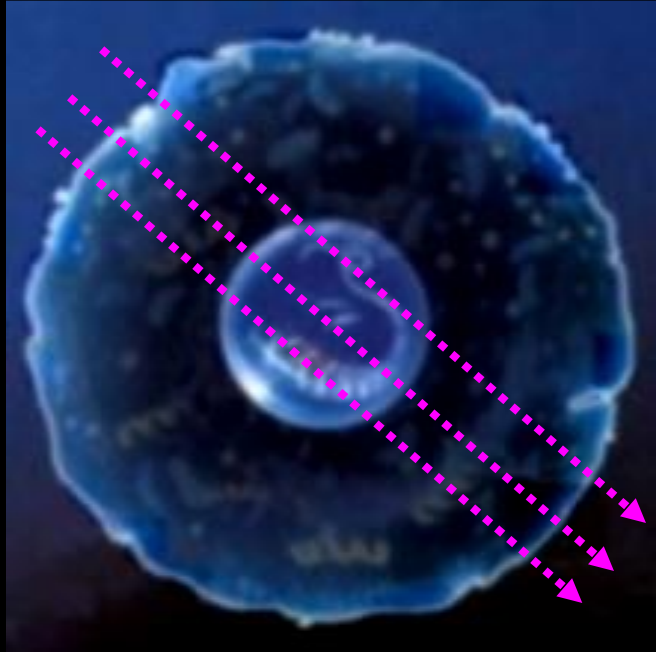
BAJA



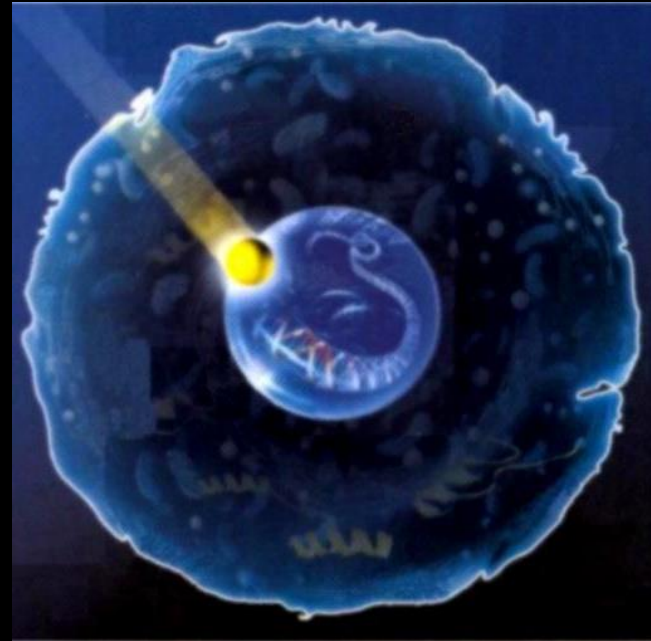
ALTA



EFFECTO BIOLÓGICO RELATIVO (E.B.R.)



BAJA L.E.T.



ALTA L.E.T.

BAJA L.E.T. > E.B.R. en tejidos O_2 y mitosis – G2
ALTA L.E.T. > E.B.R. en tejidos hipóxicos, fase S o Reposo

Classification of radiotherapy

Radioterapia
Convencional

RT con haces de partículas

Protones

Iones Pesados

electron



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)

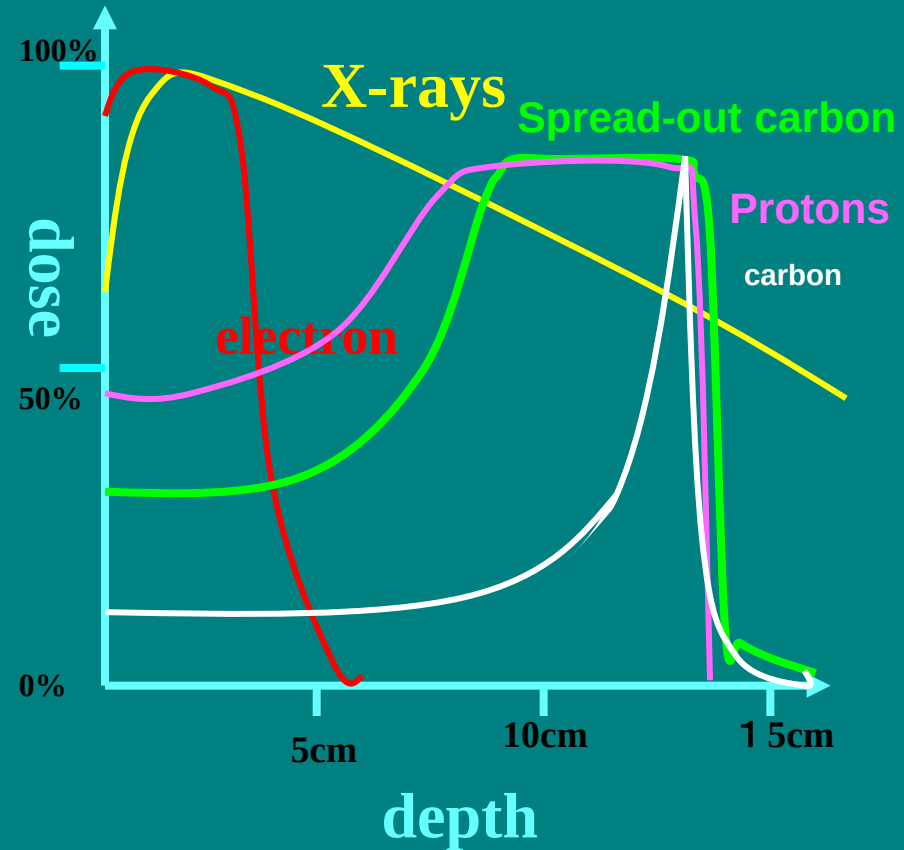
Distribución de Dosis de rayos X, haces de electrones y Carbono

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

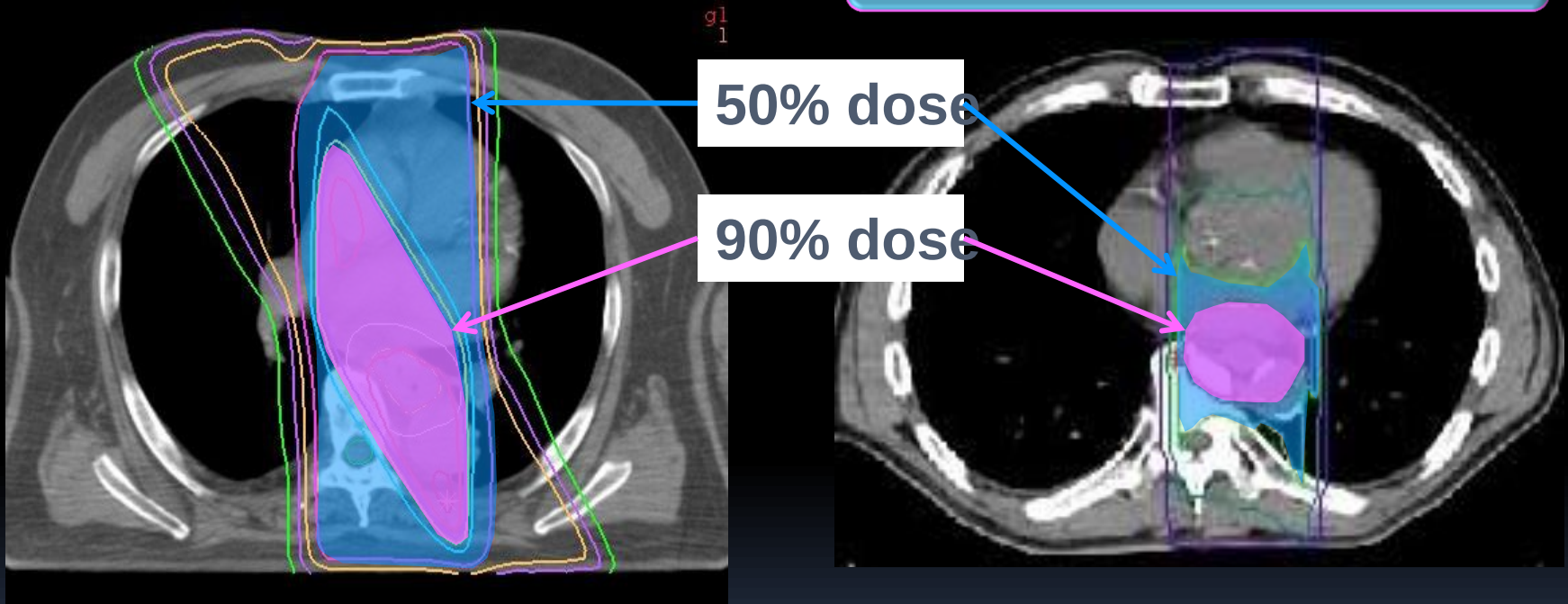


Comparación de Distribuciones de Dosis

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!

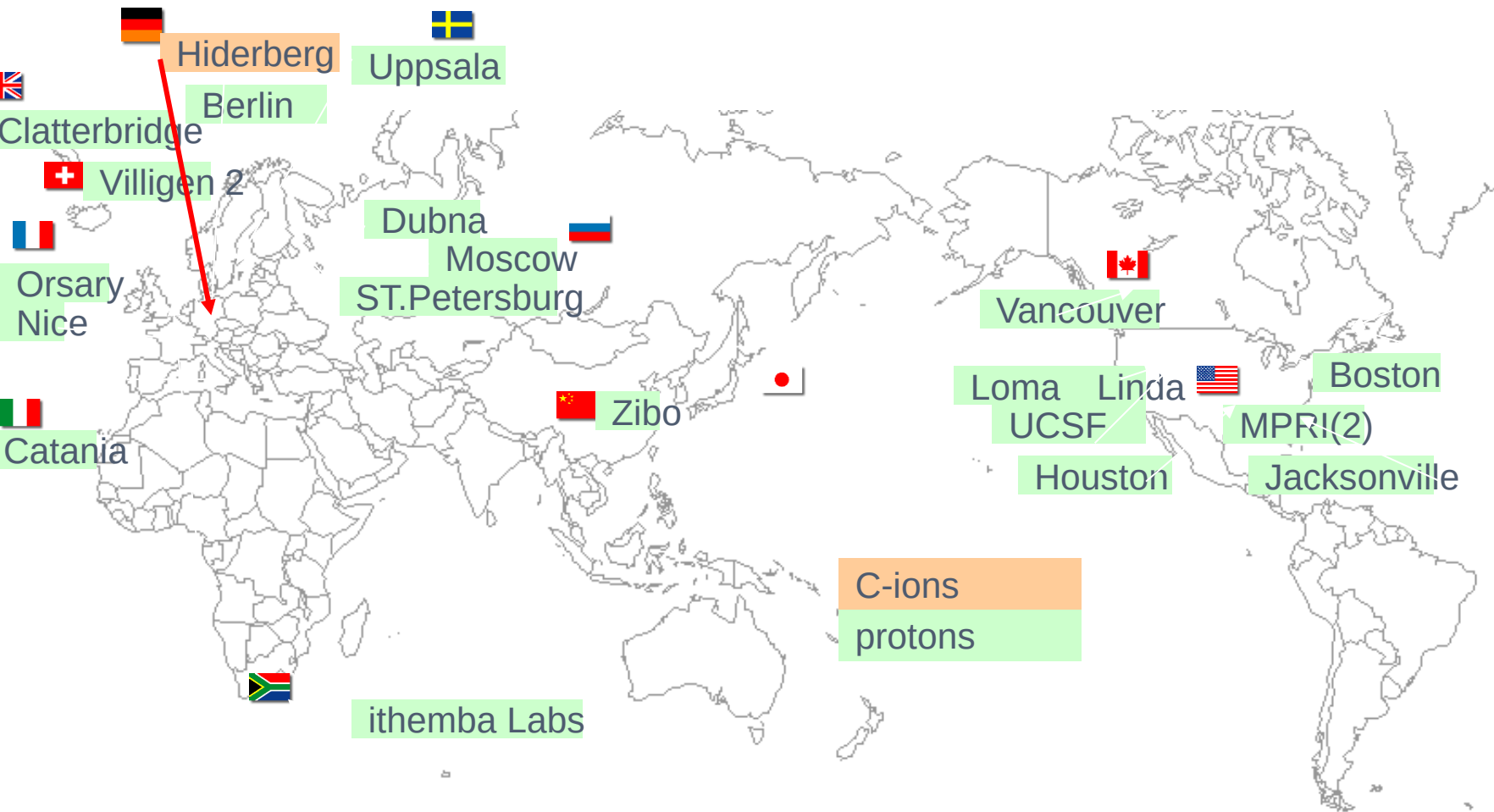
✚ El efecto biológico de **C-ions** es 2-3 veces mayor que los **Protones** o los **rayos-X**, de modo que la RT con **C-ion** es efectiva para cánceres resistentes a la radiación convencional.

✚ **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!

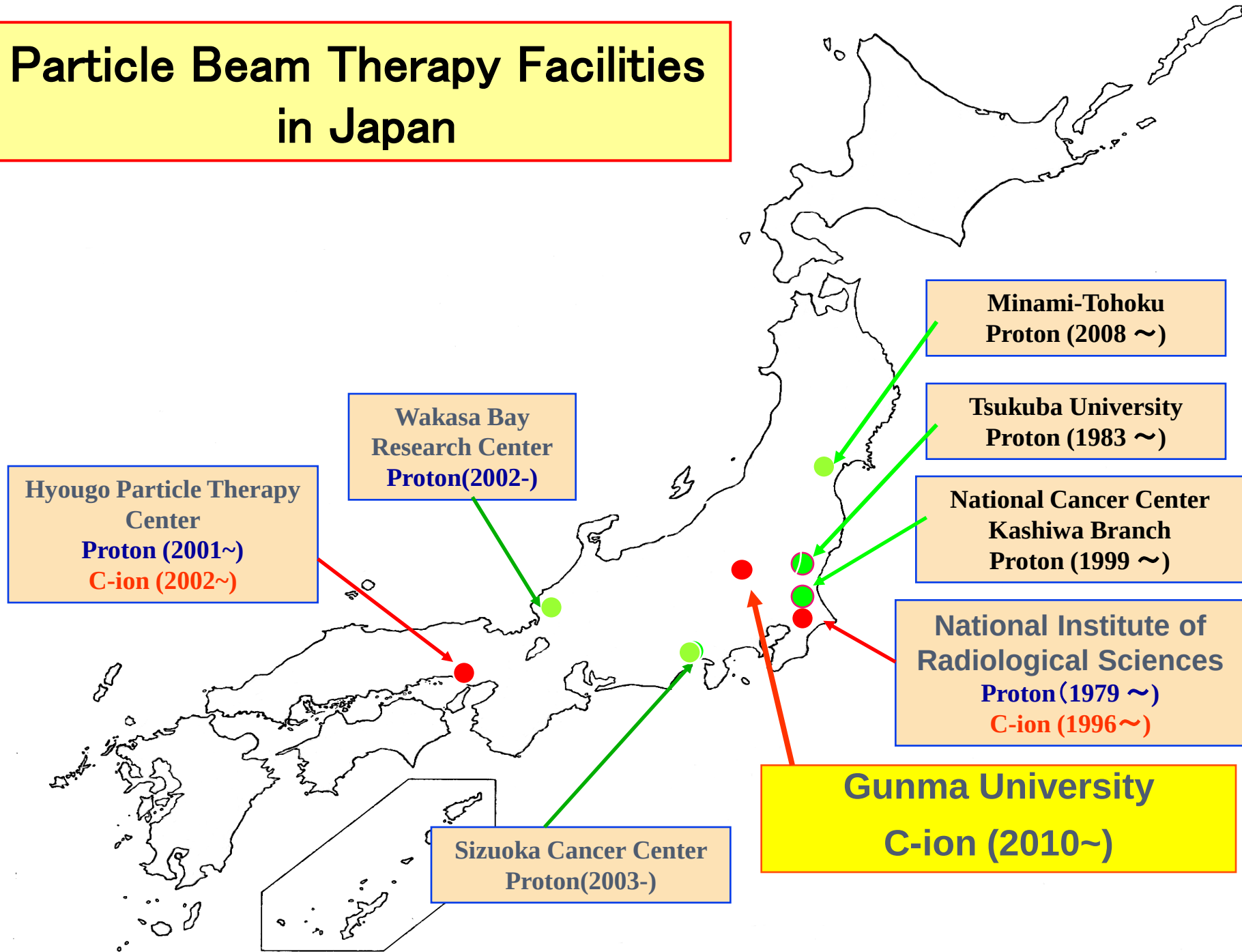
✚ Por estas razones, los tratamientos con **C-ion** pueden finalizar en 1 – 10 fracciones entregadas 1 día cada 2 semanas mientras que la terapia con **rayos-X** o con **Protones** demanda 6-8 semanas con irradiaciones diarias!

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.

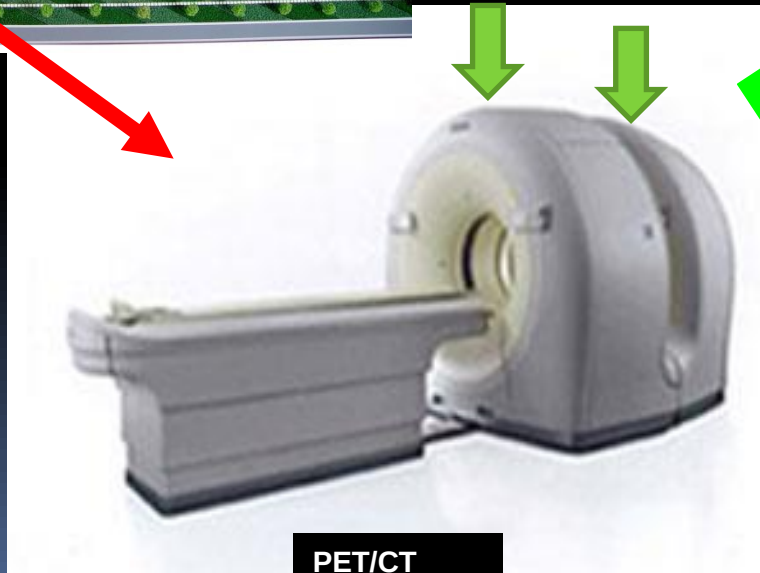
Particle Beam Therapy Facilities in Japan



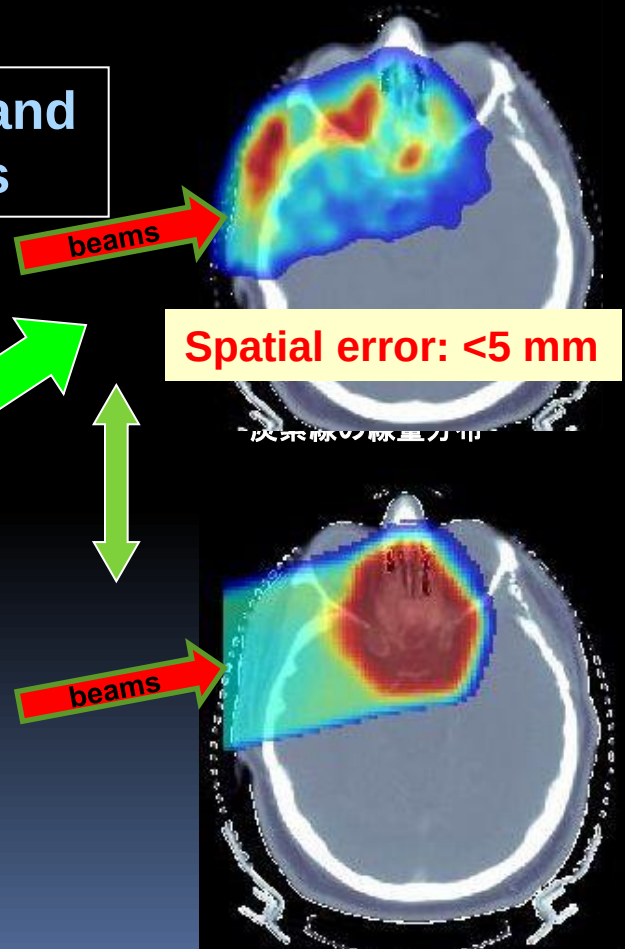
Verificación de la posición del haz mediante PET/CT



Fusion of CT and
PET images



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 Library
0 000002 295626

Jo

ICRU R
Prescri
Electro

OXFO
UNIVERSITY

OXFORD UNIV

Volume 7 No 2

ICRU RE
Prescri
Proton-E

OXFORD JOUR
OXFORD UNIVERSITY

OXFORD UNIVER

Volume 10 No 1 2010

IAEA Library
0 000002 553168

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

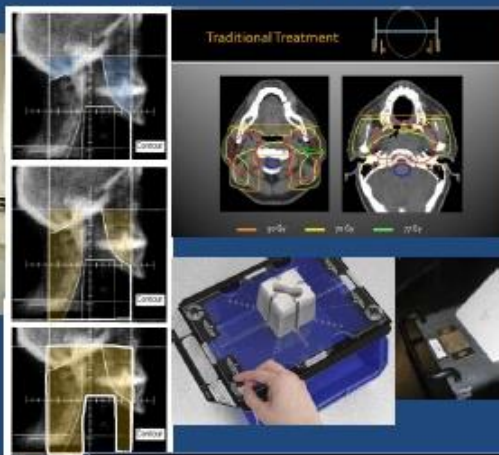


INTERNATIONAL COMMISSION ON
RADIATION UNITS AND
MEASUREMENTS

Increasing complexity (1985-present)



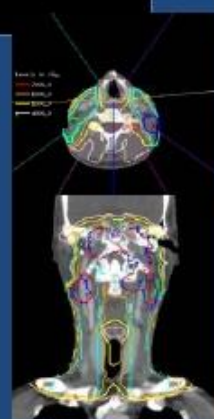
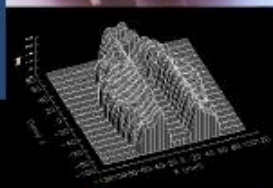
THEN



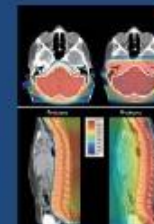
File Size	30.1	44.4	55.4	50.0	100.0	170.0	444.0	1000.0	1.00
Sp	0.049	0.250	0.377	0.591	0.800	1.000	1.014	1.017	1.000
TSMS	0.812	0.365	0.381	0.991	1.000	1.000	1.005	1.015	1.000
File Size	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Case 1	1.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.00
2.0	0.987	1.002	1.001	1.000	1.002	1.000	1.001	1.001	1.00
1.5	0.980	0.997	0.997	0.997	0.999	0.997	0.997	0.997	0.99
2.5	0.980	0.989	0.994	0.995	0.987	0.987	0.987	0.987	0.98
3.0	0.982								
3.5	0.914								
4.0	0.803								
4.5	0.907								
5.0	0.807								
5.5	0.907								
6.0	0.803								
6.5	0.910								
7.0	0.819								
7.5	0.710								
8.0	0.719								
8.5	0.719								
9.0	0.719								
9.5	0.725								
10.0	0.719								



NOW



& protons



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

19 field H&N IMRT
3 Dose levels





**Administration
Budget cut**

**QA of RTPS, 4D CT,
radiographic, fluoroscopic, &
CBCT IGRT, image registration,
fusion, US, 4D PET/CT....**



Therapist



Director of Physics



Physicist



Physics Resident



Dosimetrist



Physician

**Emerging
Technol-
ogies**

Reducir distracciones

- 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.

Factores de éxito

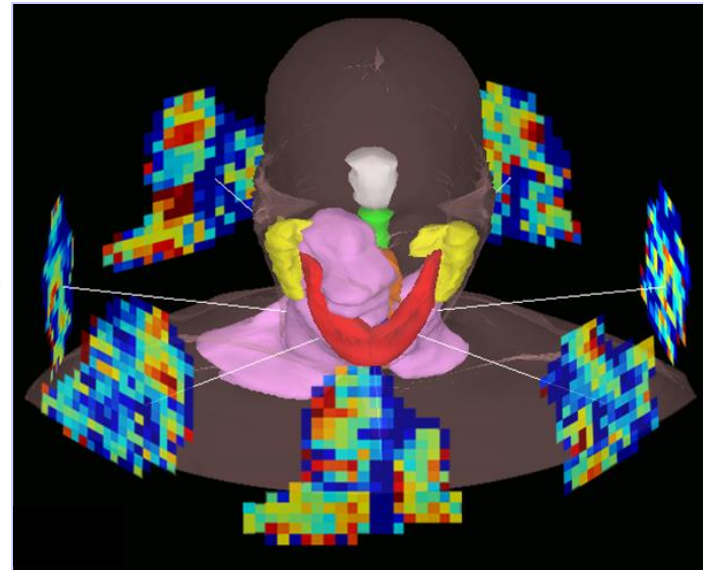
- Listas de verificación / comunicación positiva por escrito sobre cualquier cambio del tratamiento con la correspondiente firma ("¿cómo se comunican el piloto y el copiloto?")
- "Gestión por caminar", de inspiración en la abolición de la naturaleza jerárquica del departamento de XRT (Sistema de Producción Toyota)
- Tiempo de espera: Cualquier miembro de la equipo puede detener el tratamiento si hay dudas y el médico debe estar presente en el nuevo comienzo
- "Todos debemos aprender juntos": aplicación de las nuevas tecnologías

Christopher Rose, MD

¿Quien debe velar por el control de seguridad en los pacientes?

Todos tenemos papeles diferentes pero se superponen en la búsqueda de la mejora de la seguridad:

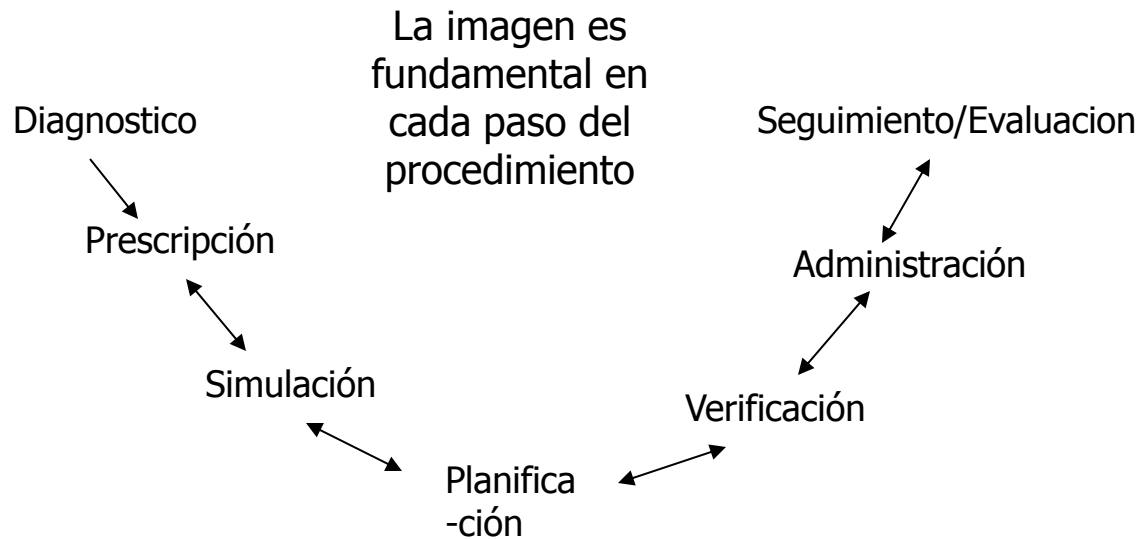
- Médicos
- Radiofísicos
- Técnicos y dosimetristas
- Personal administrativo
- Proveedores
- Reguladores



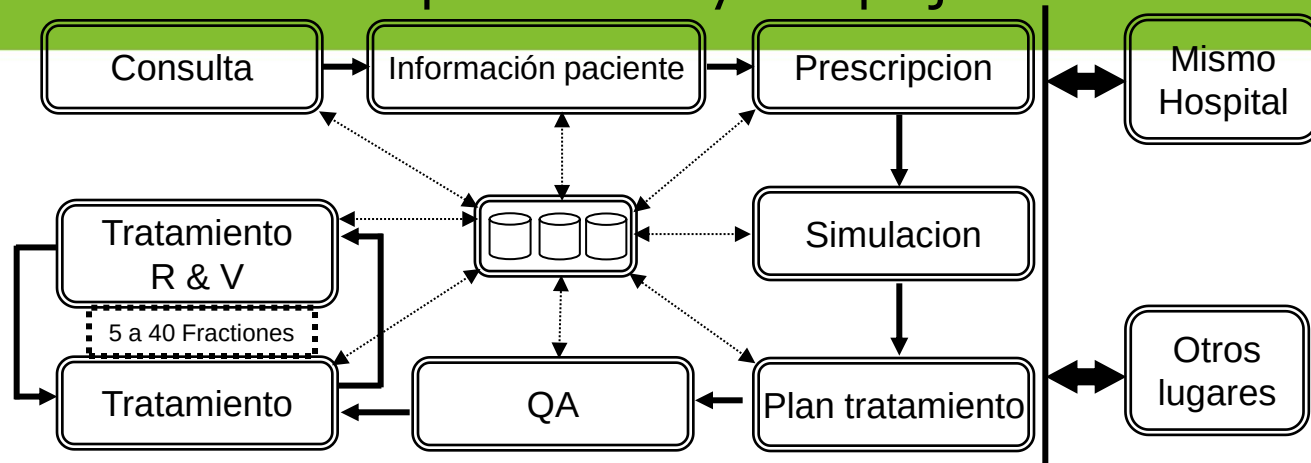
El proceso debe ser anticipativo a posibles errores

- 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.

Tratamiento: procesos seguidos



Es un proceso muy complejo



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

Entorno multi- vs. único-proveedores

Diferentes profesionales:

- Médicos
- Radiofisicos
- Técnicos
- Dosimetristas
- IS Staff
- Administrativos Staff

Inovaciones tecnológicas:

- EPID
- kV localizador
- CBCT
- Otras IGRT

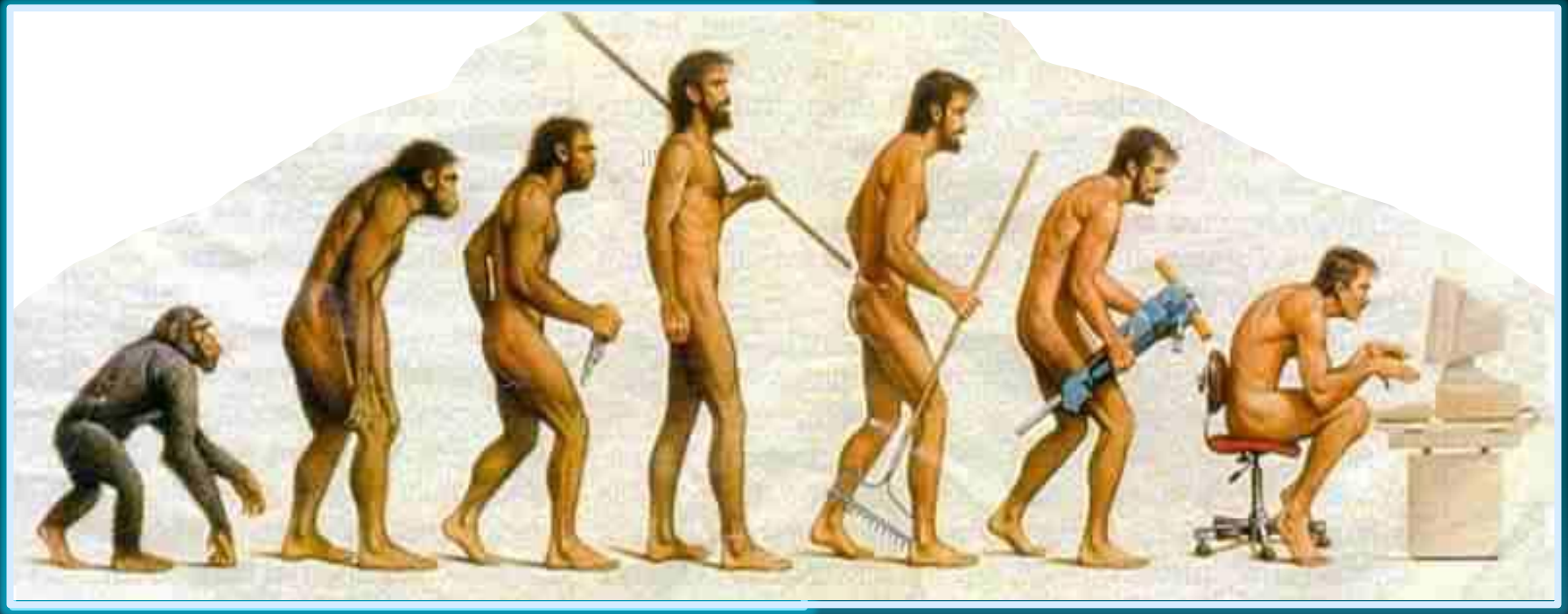
Investigación
• Clínica

Analisis:
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...



- ... pero ésta es otra historia.....