

FÍSICA DE BRAQUITERAPIA I

FUENTES Y EQUIPOS DE BRAQUITERAPIA

Curso Regional de Capacitación

Actualización en Braquiterapia de Alta Tasa de Dosis

4 al 8 Septiembre de 2017, Santiago, CHILE

Rubén A. Yáñez D.
Físico Médico – Bioingeniero

Sub Depto. Oncología y Rdt.

Hospital Base Valdivia

Valdivia - Chile

ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

1

• **INTRODUCCIÓN**

2

• CONCEPTOS FÍSICOS

3

• FUENTES SELLADAS

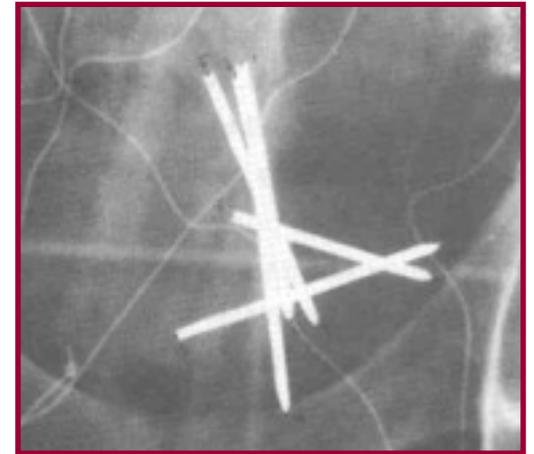
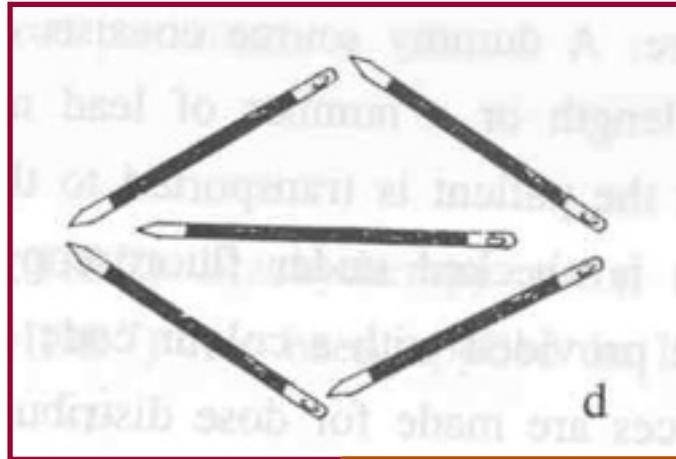
4

• EQUIPOS DE BT-HDR

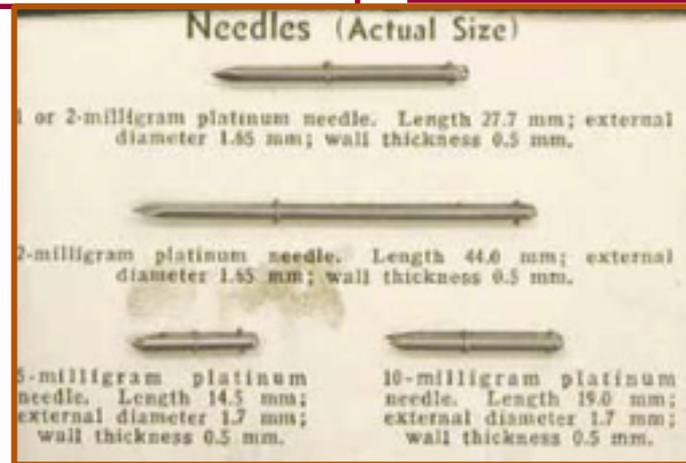
5

• COMENTARIOS FINALES

El primer isótopo utilizado clínicamente fue el radio alrededor de 1903



HITOS EN BQT



HITOS EN BQT



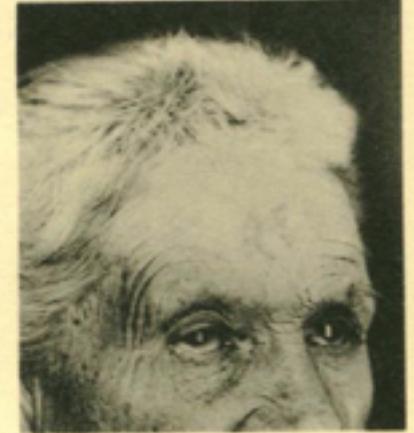
Aplicador superficial con distribución irregular de radio en la superficie del aplicador. (Murdoch, Bruselas 1933)



VASTE CANCER ULCÉRÉ du FRONT
encore limité
aux parties molles.

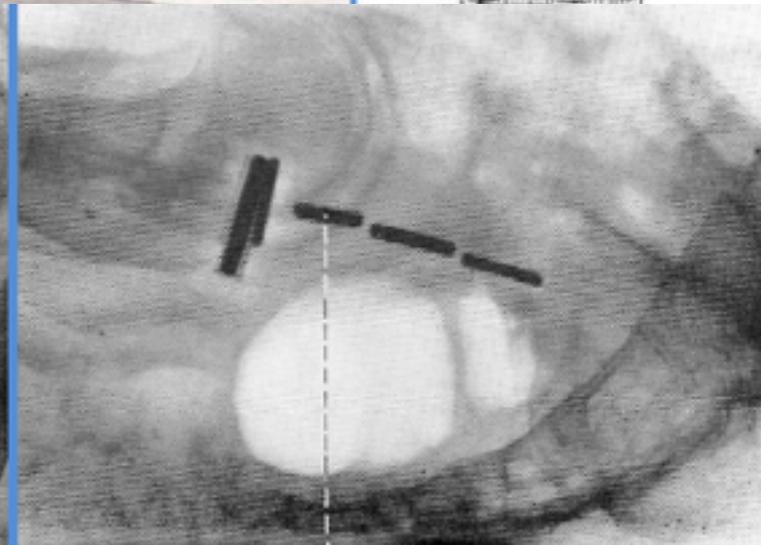
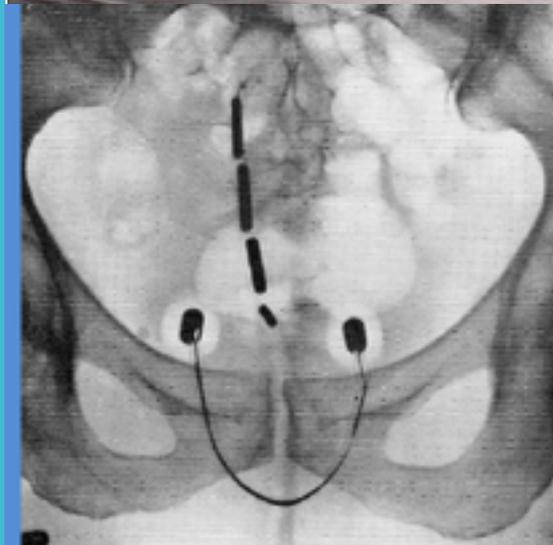
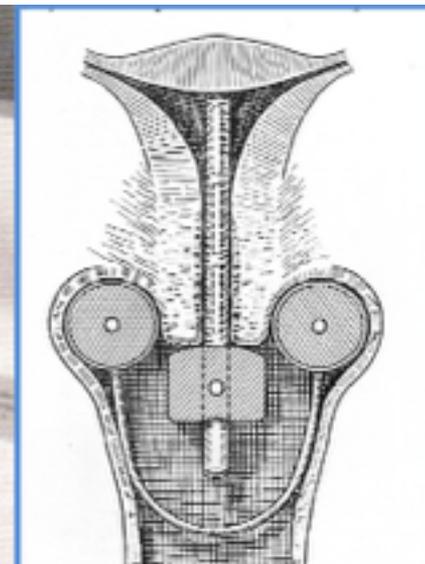
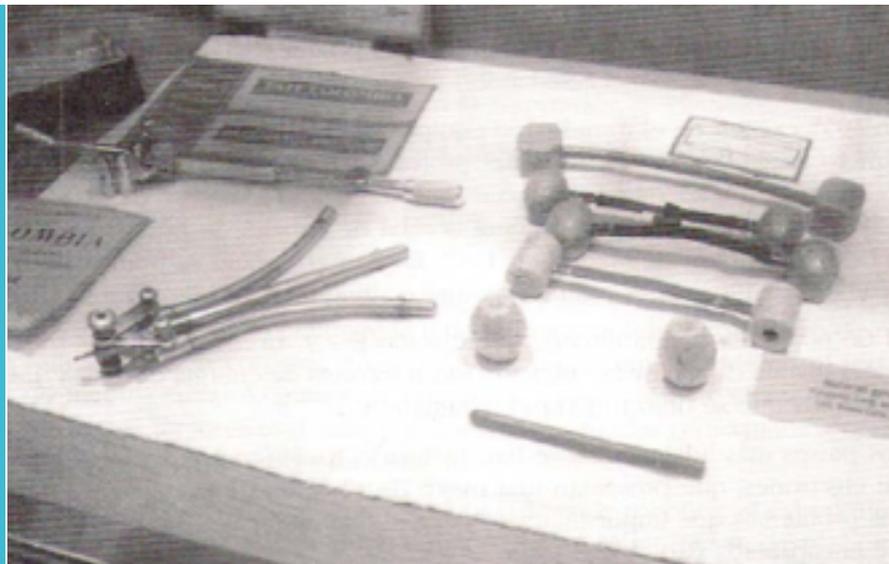


APPAREIL DE RADIUM en place.
Les tubes de radium se voient
en blanc sur l'appareil moulé.



GUERISON MAINTENUE
depuis plus de trois ans.
Cicatrice lisse et blanchâtre.

HITOS EN BQT



Sistemas de carga diferida en BT ginecológica (1950-1970):

Fetcher-Delclos

Henschke

Delouche

Gustave Roussy (moldes personalizados)



HITOS EN BQT

Co-60	PSD	5,2 años
Cs-137	PSD	30 años
Ir-192	PSD	74 días
Ta-182	PSD	115 días
Au-198	PSD	2,7 días

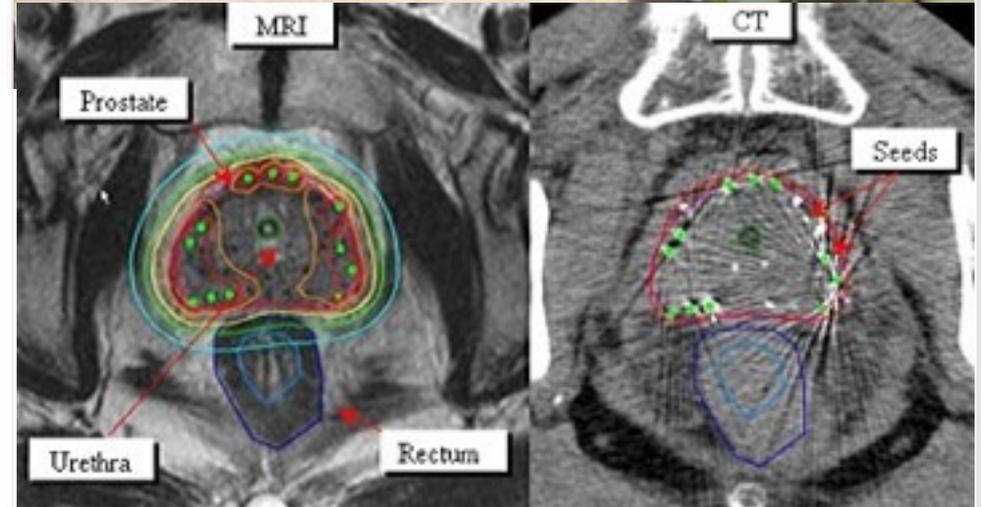
HITOS EN BQT



**Sistemas de carga diferida con control remoto de las fuentes
(Cs-137 e Ir-192):**

Curietron
Cervitron
Gamma-med
Cathetron

BRAQUITERAPIA EN LA ACTUALIDAD



BRAQUITERAPIA EN LA ACTUALIDAD

OBJETIVOS DE LA PRESENTACIÓN

- Repasar conceptos físicos básicos
- Conocer los isótopos más usados para Braquiterapia
- Entender el diseño básico de los equipos de modernos

ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

1

• INTRODUCCIÓN

2

• **CONCEPTOS FÍSICOS**

3

• FUENTES SELLADAS

4

• EQUIPOS DE BT-HDR

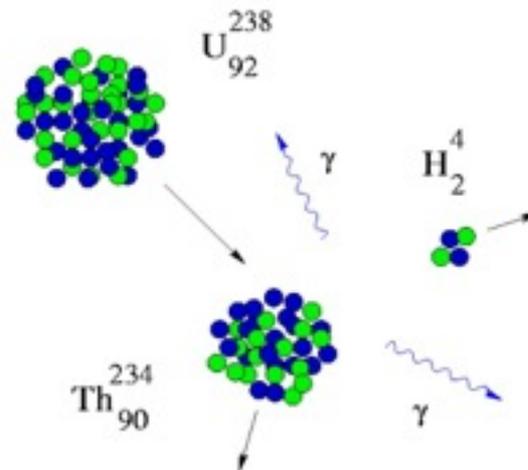
5

• COMENTARIOS FINALES

CONCEPTOS FÍSICOS

RADIATIVIDAD

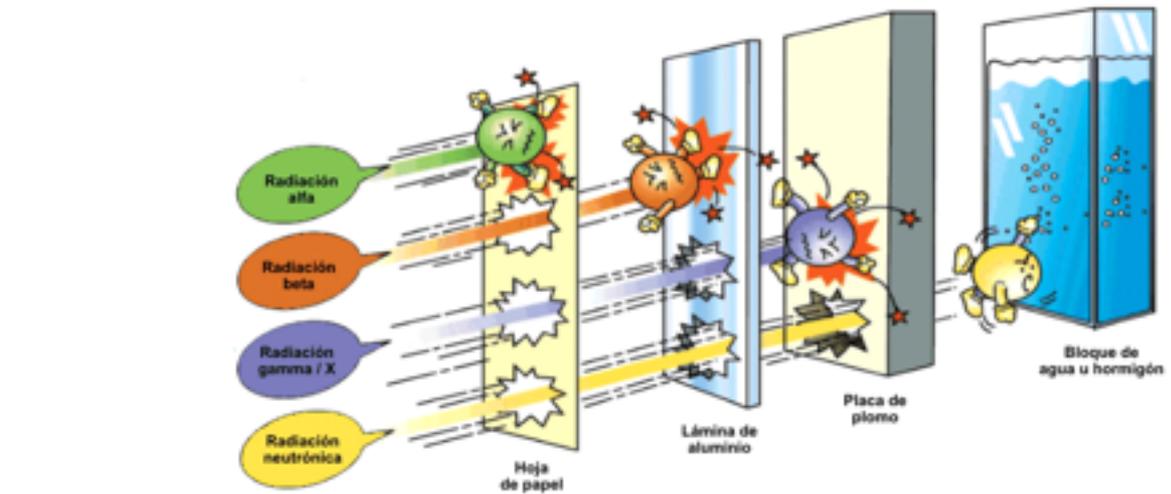
- Propiedad física inherente a ciertos núcleos atómicos.
- Los núcleos radiactivos no son estables y sufren transformaciones nucleares.
- Producto de esta transformación los núcleos emiten diferentes partículas (Alfa, Beta, Gamma, Neutrones...)



CONCEPTOS FÍSICOS

PARTÍCULAS

	Masa	Carga Eléctrica
neutrones	1	0
α	$4(2P+2N)$	+2
β	1/1800	-1
γ	0	0
X	0	0

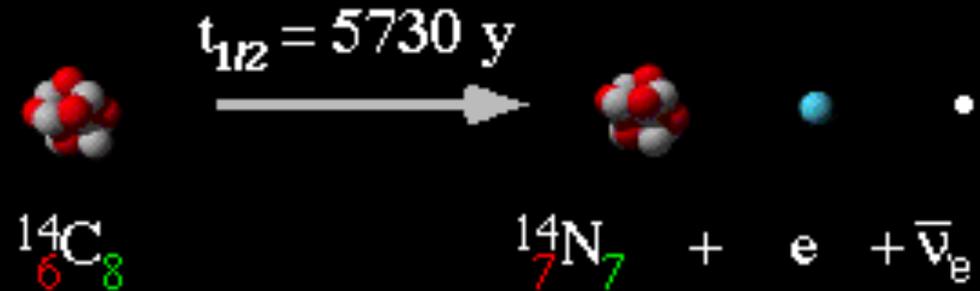


DECAIMIENTO RADIOACTIVO

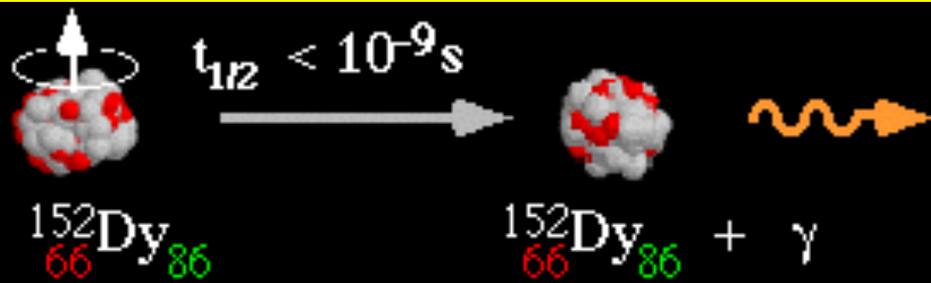
α
Alpha
Decay



β
Beta
Decay



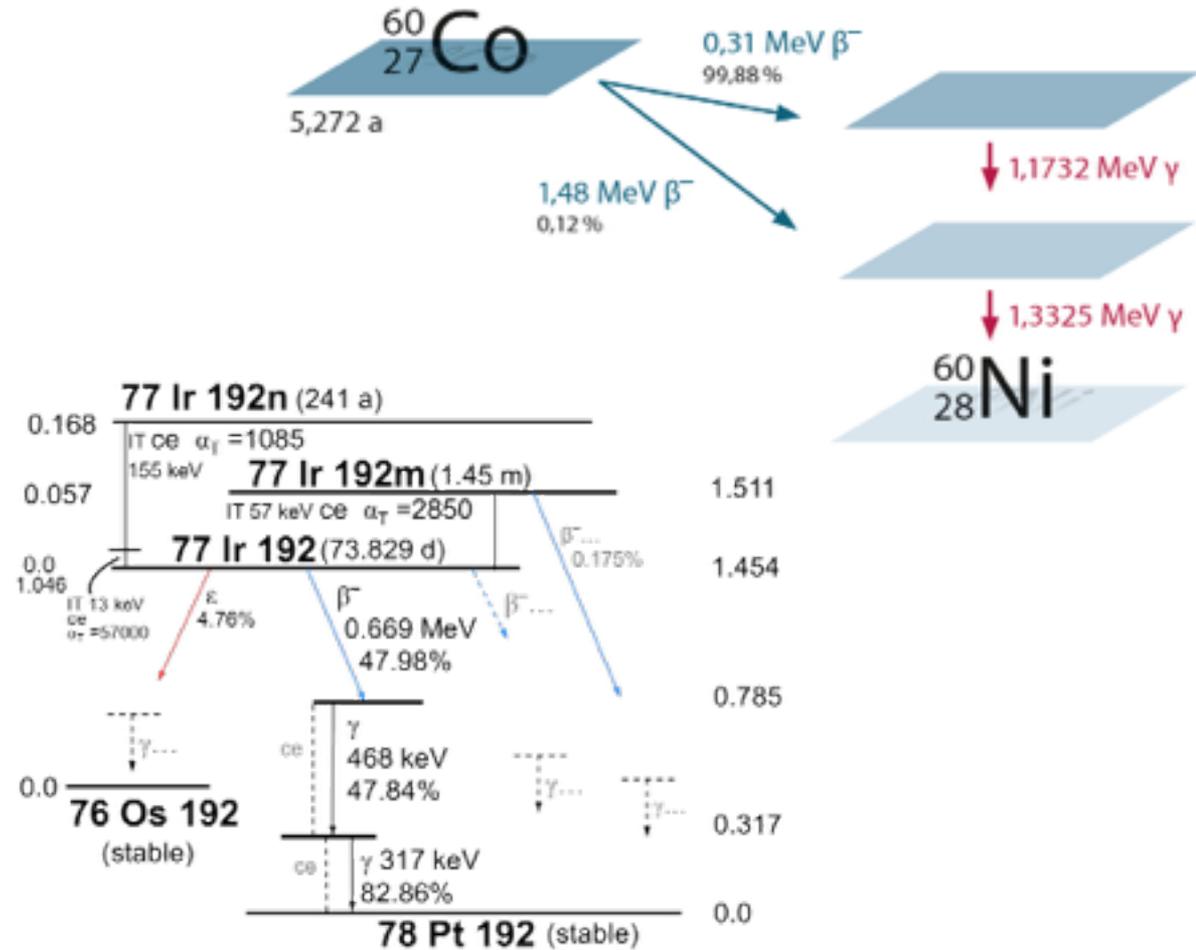
γ
Gamma
Decay



CONCEPTOS
FÍSICOS

CONCEPTOS FÍSICOS

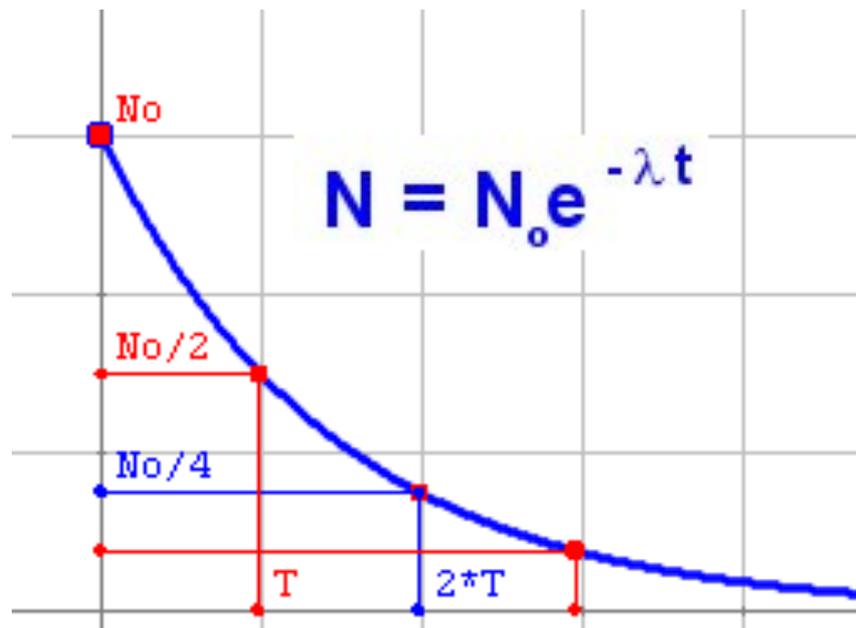
DECAIMIENTO RADIOACTIVO



CONCEPTOS FÍSICOS

DECAIMIENTO RADIOACTIVO

Se puede determinar el número N de núcleos radiactivos de una misma especie que se encuentran en un instante t_1 con la ecuación $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$, donde N_0 es el número de núcleos radiactivos que había en el instante t_0 .



CONCEPTOS FÍSICOS

DECAIMIENTO RADIATIVO

Período de semidesintegración = tiempo transcurrido en el cual la mitad de la actividad original está aún presente en la fuente

Actividad = número de desintegraciones por segundo.

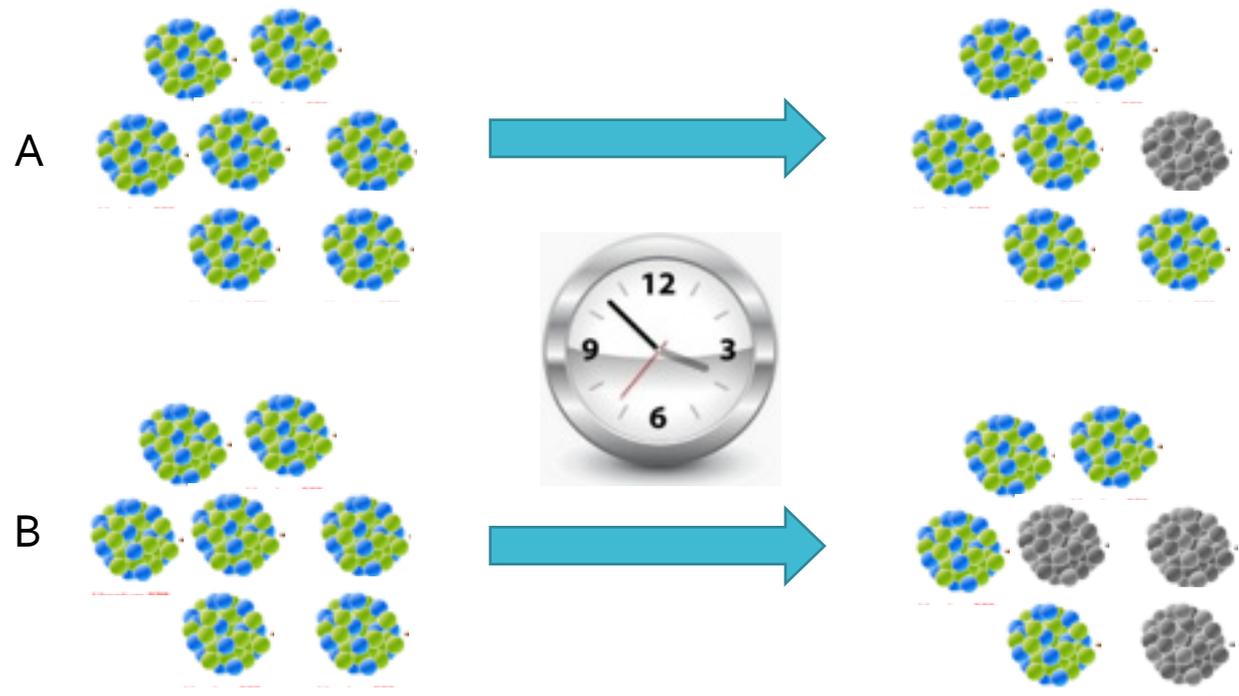
Actividad específica = actividad por unidad de masa.

La energía de la radiación determina el alcance de la radiación en el tejido (y los requisitos para el blindaje)

CONCEPTOS FÍSICOS

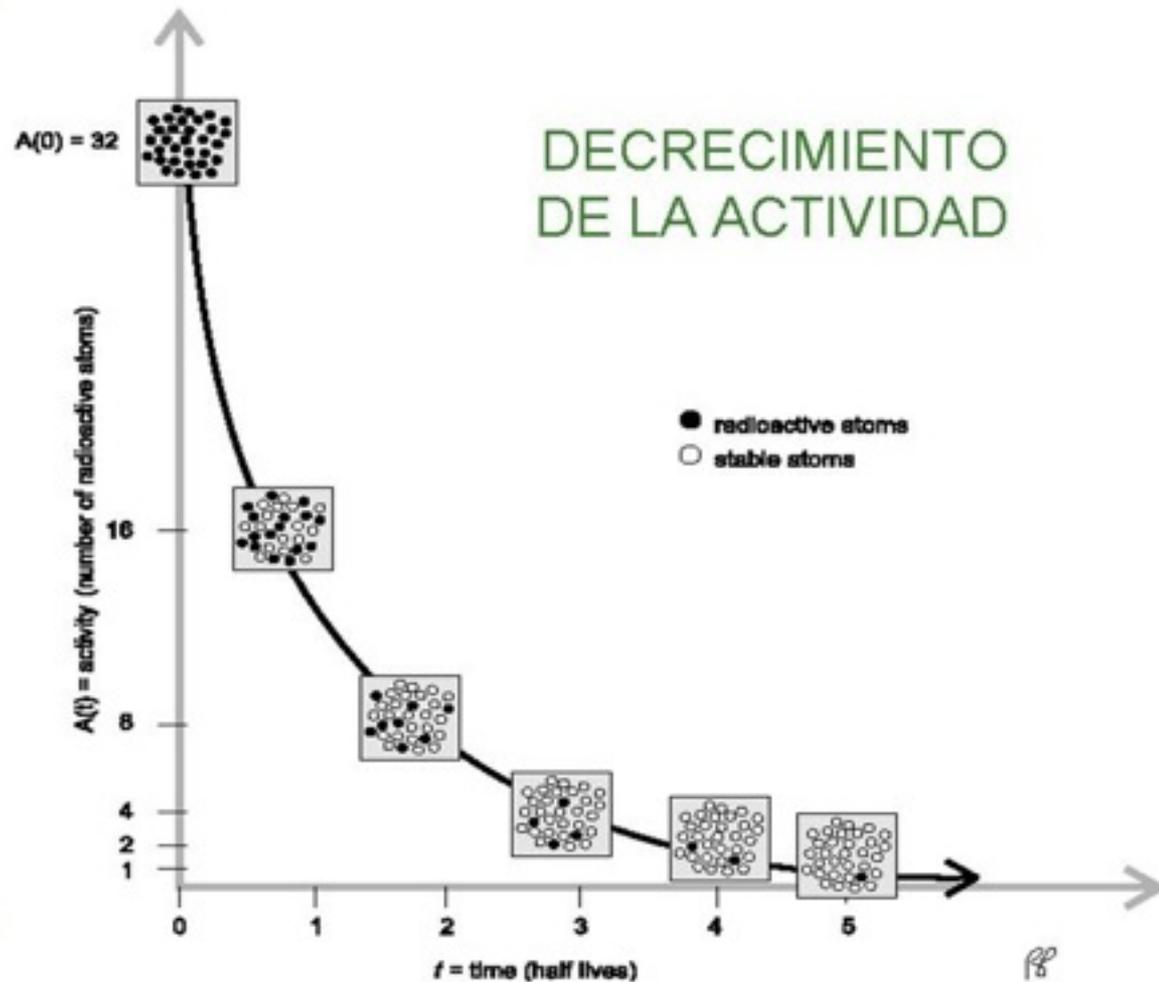
ACTIVIDAD

Actividad radiactiva, es el número de núcleos atómicos que se desintegran por segundo.

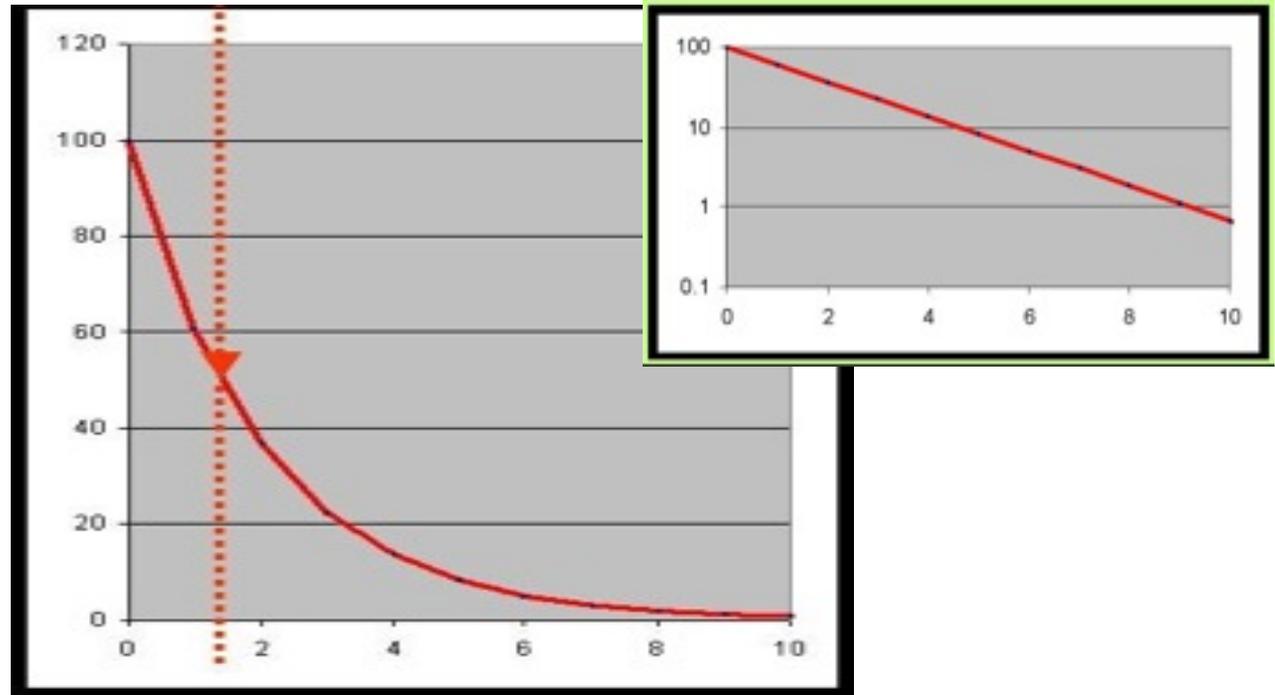


CONCEPTOS FÍSICOS

DECAIMIENTO RADIOACTIVO



ACTIVIDAD



$$A(t) = A(o) \exp (-t \ln 2 / T_{1/2})$$

A(t) actividad en el tiempo t

A(o) actividad original en el tiempo o
t tiempo

$T_{1/2}$ período de semidesintegración

CONCEPTOS FÍSICOS

UNIDADES DE ACTIVIDAD

La actividad es el numero de desintegraciones radiactivas por segundo. La unidad de Actividad en el sistema internacional unidades y medidas es el **Becquerel**.

Actividad = N. desintegraciones / Segundo = Becquerel [Bq]

Antiguamente se usaba como unidad de actividad el **Curie [Ci]**. Un Curie es la Actividad de 1gr de Radio 226.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

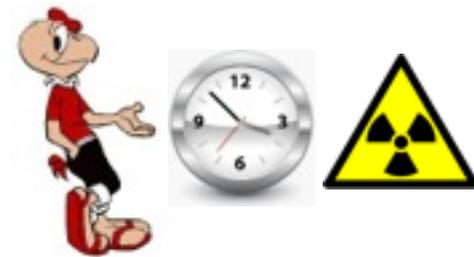
CONCEPTOS FÍSICOS

Medidas básicas para protegerse de una fuente radiactiva

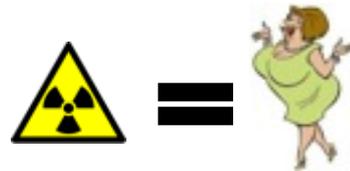
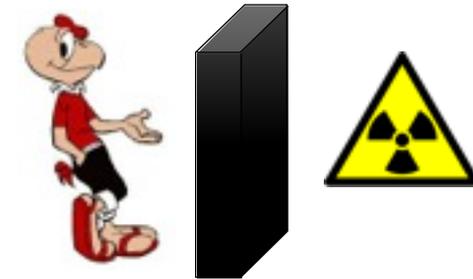
✓ DISTANCIA



✓ TIEMPO



✓ BLINDAJE

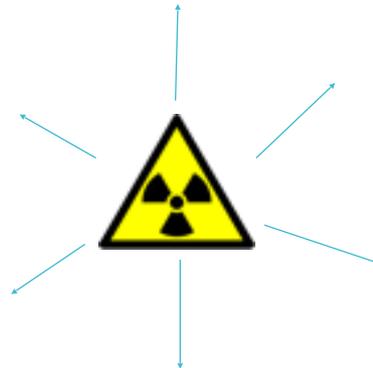


CONCEPTOS FÍSICOS

ATENCIÓN

Las unidades de actividad indican cuantas partículas se emiten de una fuente radiactiva por unidad de tiempo, **pero no indica cómo podría afectar dicha radiación a los organismos vivos.**

ACTIVIDAD



¿DOSIS??



ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

1

• INTRODUCCIÓN

2

• CONCEPTOS FÍSICOS

3

• **FUENTES SELLADAS**

4

• EQUIPOS DE BT-HDR

5

• COMENTARIOS FINALES

FUENTES SELLADAS Y NO SELLADAS

Las fuentes selladas se emplean en **Braquiterapia**

- **Cs¹³⁷** para BQT de Baja y Media Tasa de Dosis
- **Ir¹⁹²** para BQT de Baja y Alta Tasa de Dosis
- **I¹²⁵** para BQT de Baja Tasa de Dosis

Las fuentes no selladas se emplean en tto. sistémico
(Medicina Nuclear)

- **I-131** para tratamiento de tiroides
- **Sr-89** y **Sm-153** para tratamiento de metástasis ósea
- **P-32** para cánceres hematológicos

FUENTE SELLADA

- Una fuente es sellada cuando el material radiactivo está permanentemente encerrado en una cápsula.
- La contaminación del ambiente no es posible mientras la fuente se mantenga íntegra.
- Su actividad puede ser calculada a partir de un certificado de calibración y del período de $T_{1/2}$
- Su integridad DEBE verificarse periódicamente - una buen procedimiento para esto son las pruebas de frotis
- Puede fabricarse de varias formas físicas diferentes

FUENTE IDEAL

Características de la Fuente IDEAL

- Emisor gamma puro
- Energía gamma media
 - Suficientemente alta para tratar el blanco con una dosis homogénea
 - Suficientemente baja para evitar los tejidos normales y reducir los requerimientos de blindaje
- Actividad específica alta
 - Conveniente para las aplicaciones de alta tasa de dosis
 - Tamaño pequeño
- Físicamente indestructible
- **NO EXISTE**

FUENTES DE BRAQUITERAPIA

Radionucleido	T	Energía de Fotones (MeV)	HVL (mm Pb)
Ra-226	1600 a	0.047 – 2.45 (0.83)	8.0
Rn-222	3.83 d	0.047 – 2.45 (0.83)	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)	2.5
Au-198	2.7d	0.412	2.5
I-125	60.2 d	0.028	0.025
Pd-103	17.0 d	0.021	0.008

El **radio** y el **radón** tienen sólo importancia histórica - no deben usarse en un departamento de radioterapia moderno.

FUENTES POPULARES

Una amplia variedad de fuentes radiactivas ha sido empleada en braquiterapia y en muchas formas físicas diferentes. Las fuentes más comunes son Cs^{137} , Ir^{192} y I^{125}



FUENTES POPULARES

Cs¹³⁷ Sustituto principal del radio. Mayormente usado en las aplicaciones ginecológicas.

Ir¹⁹² Múltiples formas disponibles, es la fuente más importante para las aplicaciones de alta tasa de dosis
Período de semidesintegración medio (75 días) -
corrección del decaimiento necesaria para cada
tratamiento

I¹²⁵ Energía muy baja - por tanto el blindaje resulta fácil y la radiación desde un implante es fácilmente absorbida en el paciente: son posibles los implantes permanentes
Principalmente usado en la forma de semillas

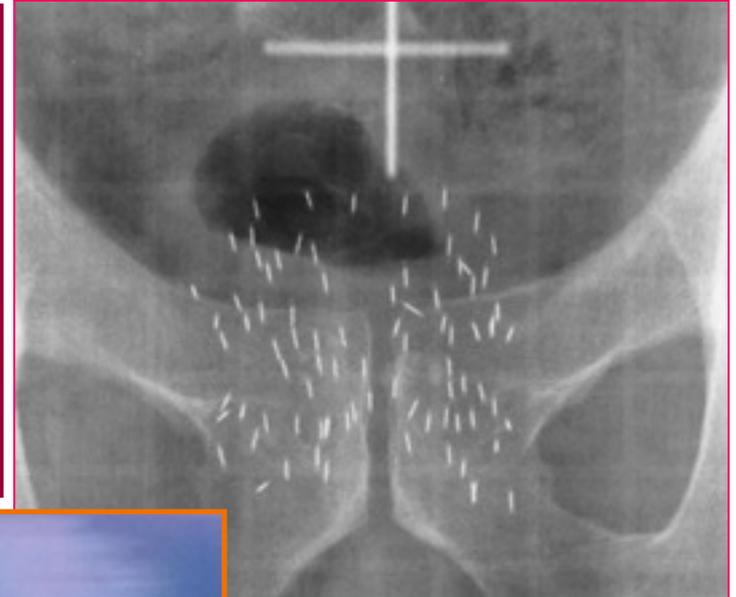
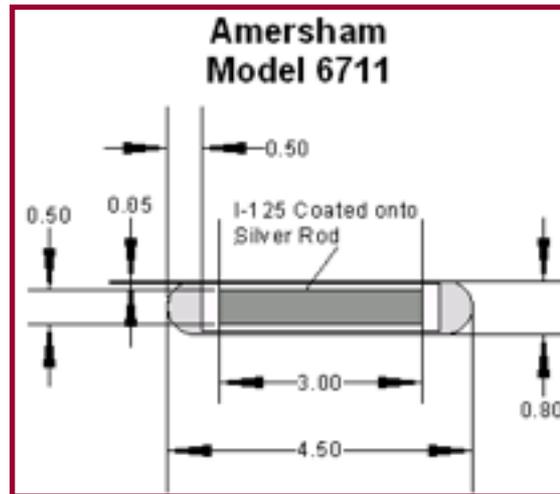
**CLASIFICACIÓN
DE FUENTES
SEGÚN FORMA**

Variedad de configuraciones y formas de las fuentes

Pastillas	Esferas de 3mm de diámetro
Semillas	Cilindros pequeños de 1mm y 4mm de longitud
Agujas	Entre 15 y 45mm de longitud activas
Tubos	De aproximadamente 14mm de longitud, implantes ginecológicos
Horquillas de cabello	Hilo de aproximadamente 60mm de longitud.
Alambre	Su longitud, se personalizan en el hospital - se pueden agregar extremos inactivos
Fuentes de HDR	Cilindro miniatura de alta actividad 1mm diámetro, 10mm de longitud

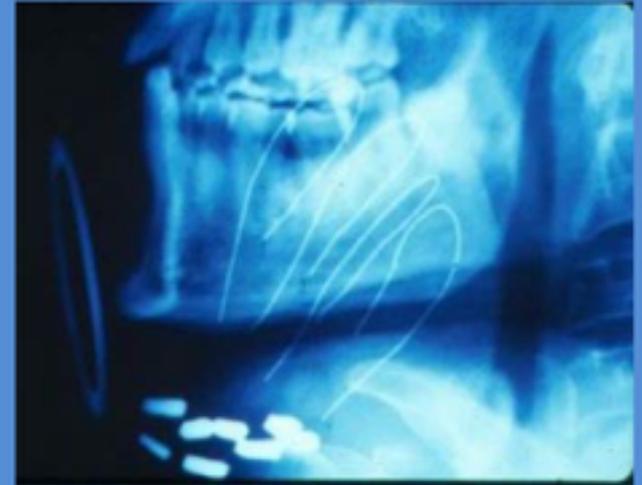
FUENTES SEGÚN FORMA

- I^{125} Principalmente usado en la forma de **semillas**



- Fuente sellada
- Encapsulado no tóxico
- Distribución isotrópica
- Radio-opacidad

FUENTES SEGÚN FORMA

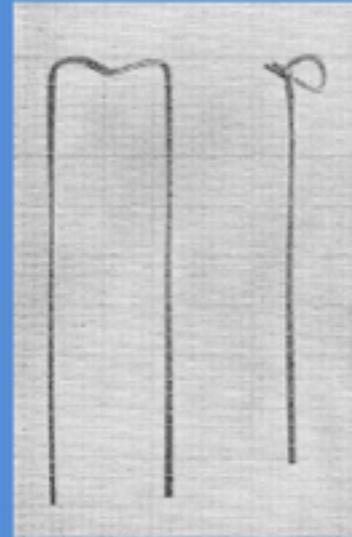


Implante de Ir-192 en cáncer de la lengua
Control radiográfico en la técnica de "bucles"

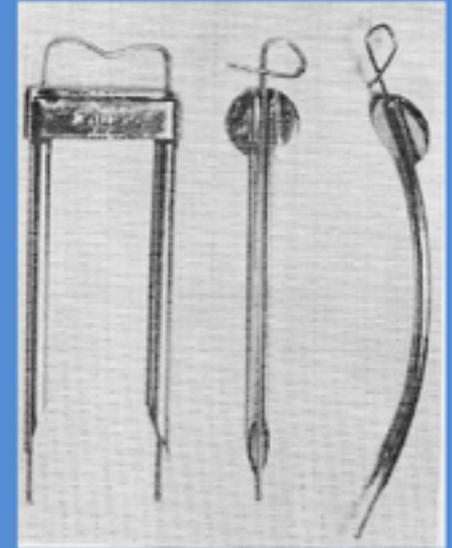
FUENTES SEGÚN FORMA



Cánulas metálicas



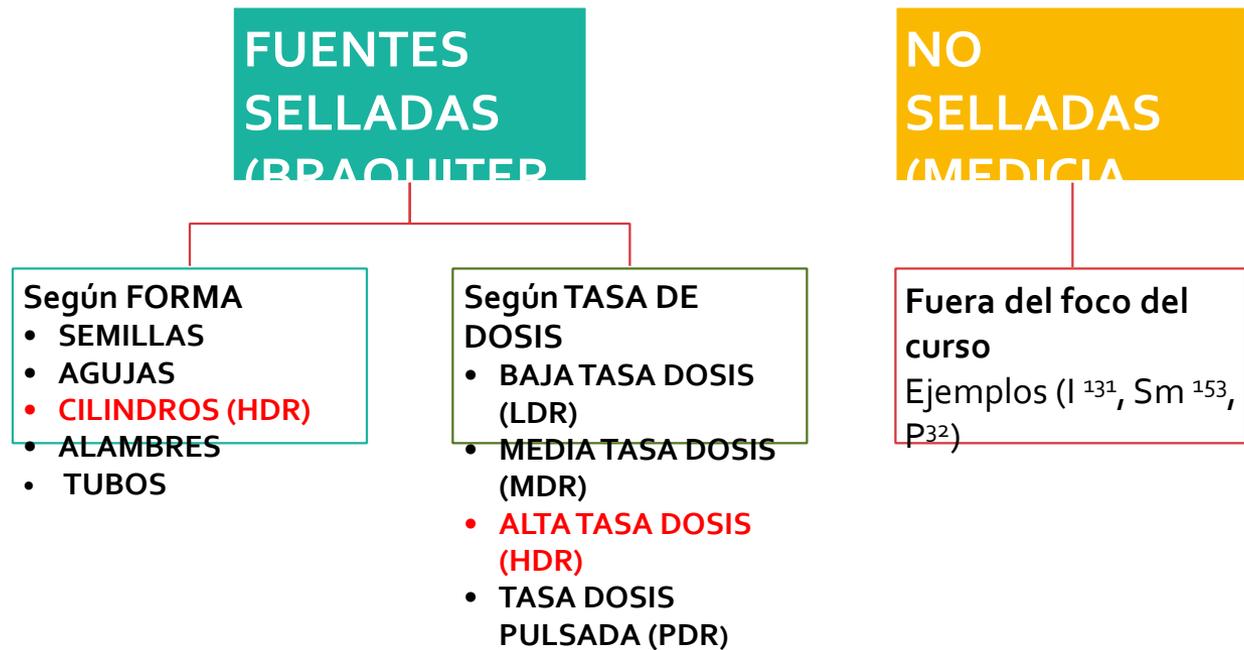
Horquillas de Ir-192



Ensamblaje



ESQUEMA FUENTES BQT



Co⁶⁰ versus Ir¹⁹²

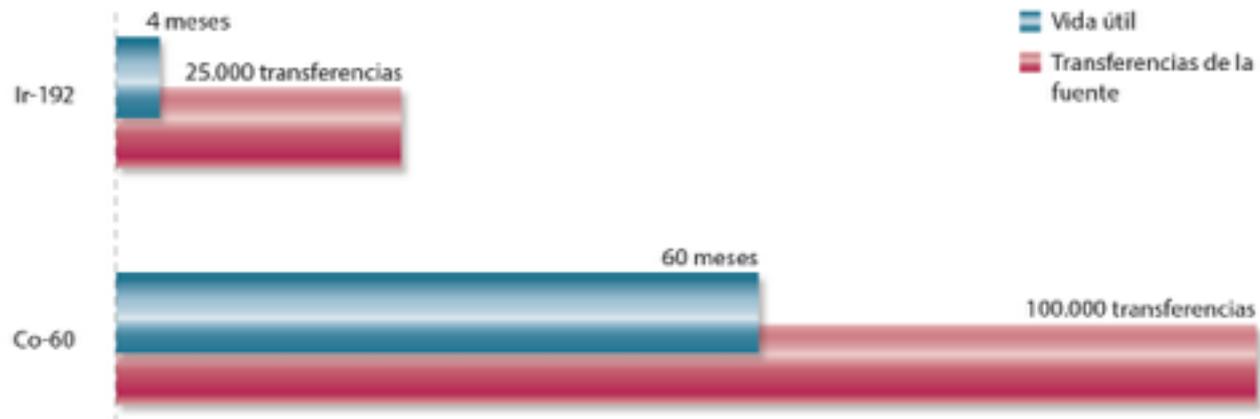
	Cobalt-60	Iridium-192
ISO Classification 2919-1998	C 65444	C 63333
Half-life	5,27 years	73,8 days
Physical-Chemical form	solid, metal	solid, metal
Source activity	74 GBq ± 10%	370 GBq + 30%; -10%
Outer dimensions of the source:		
Diameter	1 mm	0,9 mm
Total length of the wire:	2180 mm	2180 mm
Dimensions of active part		
Diameter:	0,5 mm	0,6 mm
Length:	3,5 mm	3,5 mm
Working life	max 100.000 source transfers or 5 years	max 25.000 source transfers or 4 months
Source type	Co0.A86	Ir2.A85-2

Active Source Component

Active Source Component

Isotopo	192					60					A (GBq)
	Isotopo	E _β (keV)	T _{1/2} (meses)	W _{Co} (GBq)	A (GBq)	Isotopo	E _β (keV)	T _{1/2} (meses)	W _{Co} (GBq)	A (GBq)	
192	¹⁹² Ir	328	73,8	370	108	⁶⁰ Co	1332	5,27	74	2,4	370
60	⁶⁰ Co	1332	5,27	74	2,4	¹⁹² Ir	328	73,8	370	108	370

Co⁶⁰ versus Ir¹⁹²

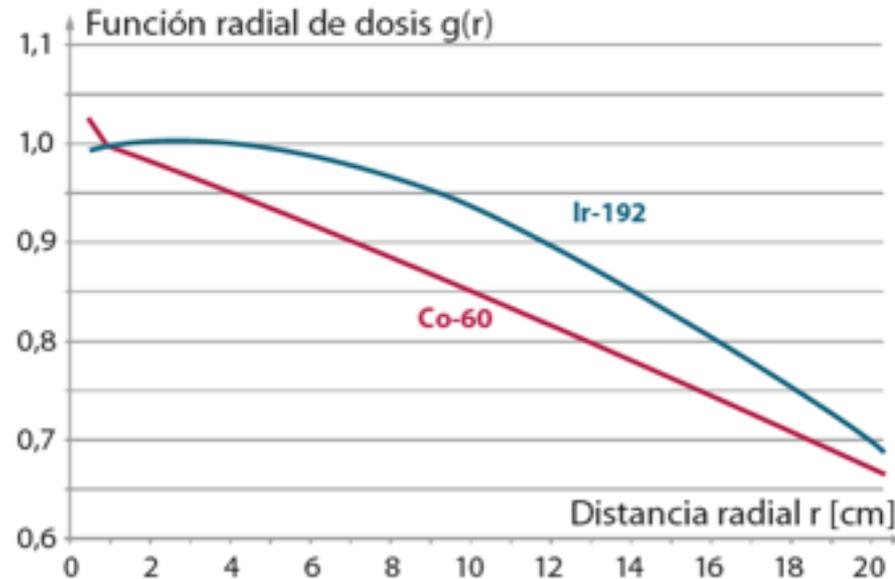


Cambio de la fuente en hasta 5 años

Debido a la larga vida media del Co-60, la fuente puede ser utilizada hasta por 5 años, lo que significa que durante la vida útil recomendada de una sola fuente de Co-60, habría que realizar aproximadamente 20 intercambios de fuente de Ir-192.

El tiempo significativo ahorrado en la realización de controles de garantía de calidad después de cada cambio de fuente hace que el uso de Co-60 sea particularmente atractivo para las clínicas con alto volumen. Además, el Co-60 es el isótopo de elección de los países con una logística más exigente.

Co⁶⁰ versus Ir¹⁹²



Dosis favorable para órganos en riesgo

El tratamiento con Co-60 conduce a una dosis menor para órganos en riesgo (OAR, por sus siglas en inglés) que con Ir-192. Debido a su energía media más alta de 1,25 MeV, se produce menos retrodispersión y, por lo tanto, el Co-60 muestra una función radial de dosis más lineal que el Ir-192 con 0,35 MeV (ver imagen 1).

Esto conduce a una dosis menor para los órganos en riesgo o el tejido sano dentro de un rango aproximado 20 cm desde la fuente¹.

Co⁶⁰ versus Ir¹⁹²

Anisotropía

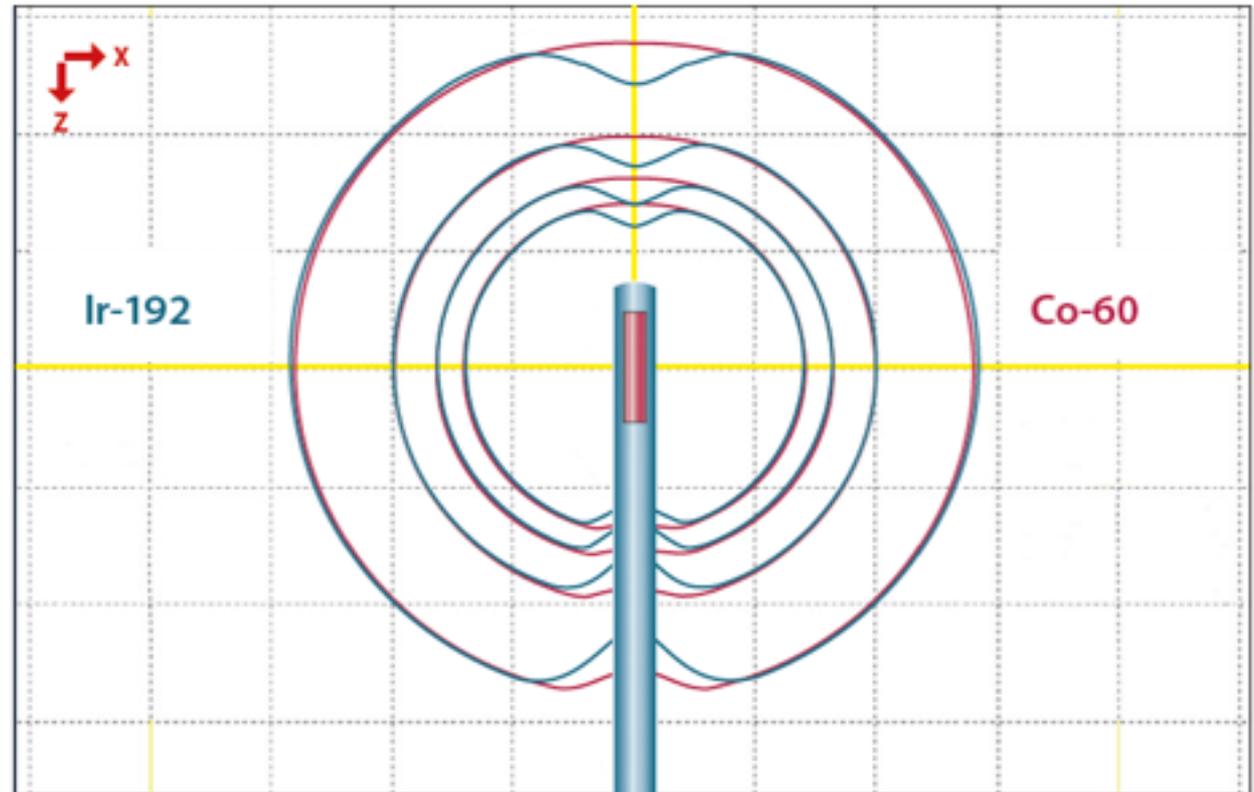


Imagen 2: La función de anisotropía del Co-60 conduce a una distribución favorable de dosis más cercana a la distribución de una fuente puntual.

Co⁶⁰ versus Ir¹⁹²

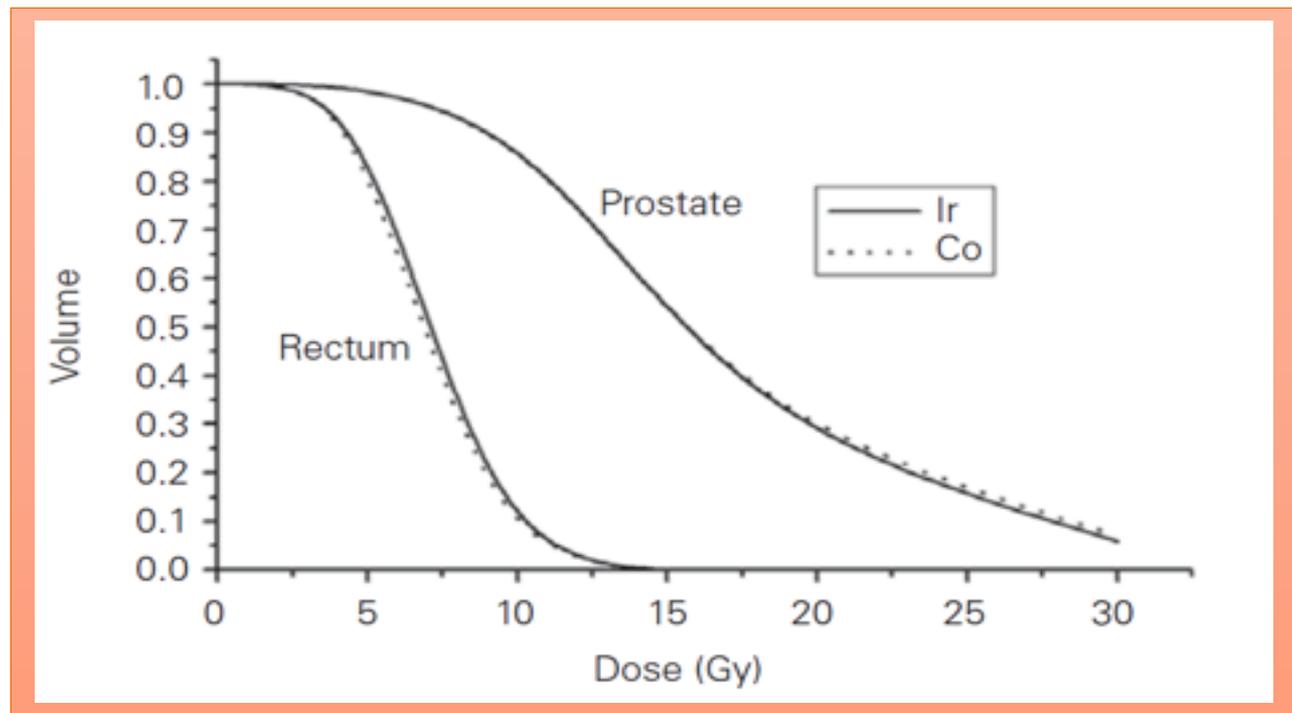
Tiempo adecuado de tratamiento

La fuente de Co-60 de Eckert & Ziegler BEBIG está cargada con una actividad de hasta 81,4 GBq, que es significativamente más baja que una fuente de Ir-192, con un máximo de 481 GBq. Sin embargo, la tasa de dosis del Co-60 es ligeramente inferior debido que la tasa constante mayor de kerma en aire (306 vs. 110 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{GBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$). Por lo tanto, el tiempo total de tratamiento con Co-60 es apenas ligeramente más largo que con Ir-192. Sin embargo, el período de cambio de fuente puede ser acortado para acelerar el tiempo de tratamiento.

La Braquiterapia de HDR comenzó con Cobalto-60

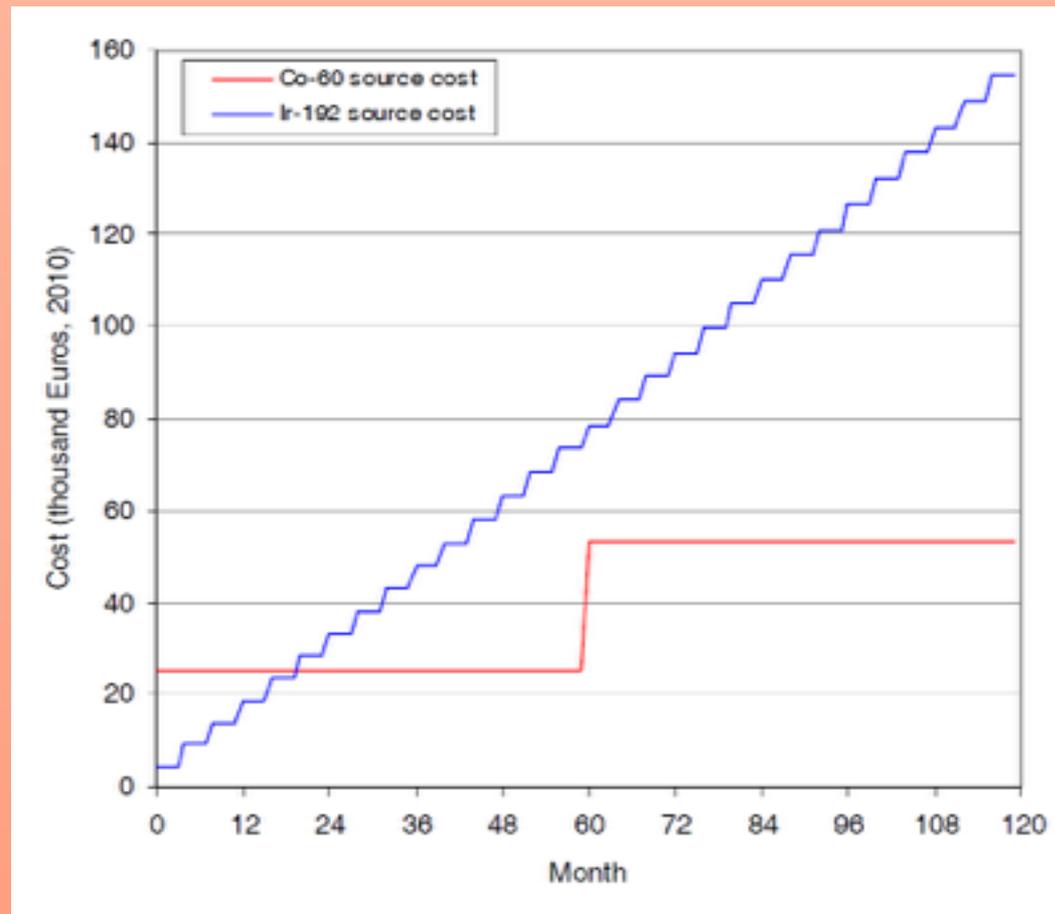
En 1962, Walstam [1] introdujo el primer concepto de dispositivo de carga remoto equipado con Co-60. En 2003, Eckert & Ziegler BEBIG diseñó y presentó la primera fuente miniaturizada de Co-60. Este diseño, moderno incluso para los estándares actuales, permite el tratamiento con aplicadores de diámetros más pequeños y curvaturas estrechas. A la fecha, se han instalado en todo el mundo más de 220 dispositivos de carga remota de Eckert & Ziegler BEBIG MultiSource® equipados con Co-60.

Co⁶⁰ versus Ir¹⁹²



Richter et al 2008.

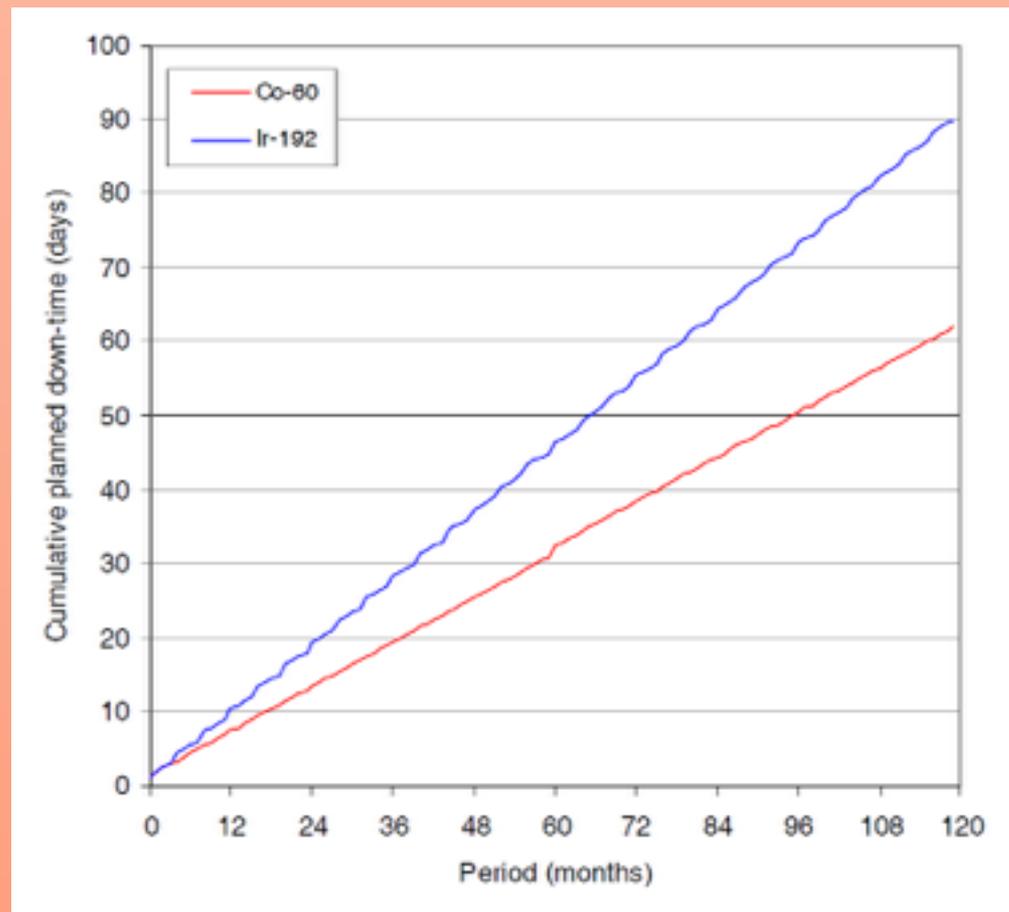
Co⁶⁰ versus Ir¹⁹²



*Costo acumulado para
⁶⁰Co y ¹⁹²Ir-192 en 10 años*

Palmer et al 2010.

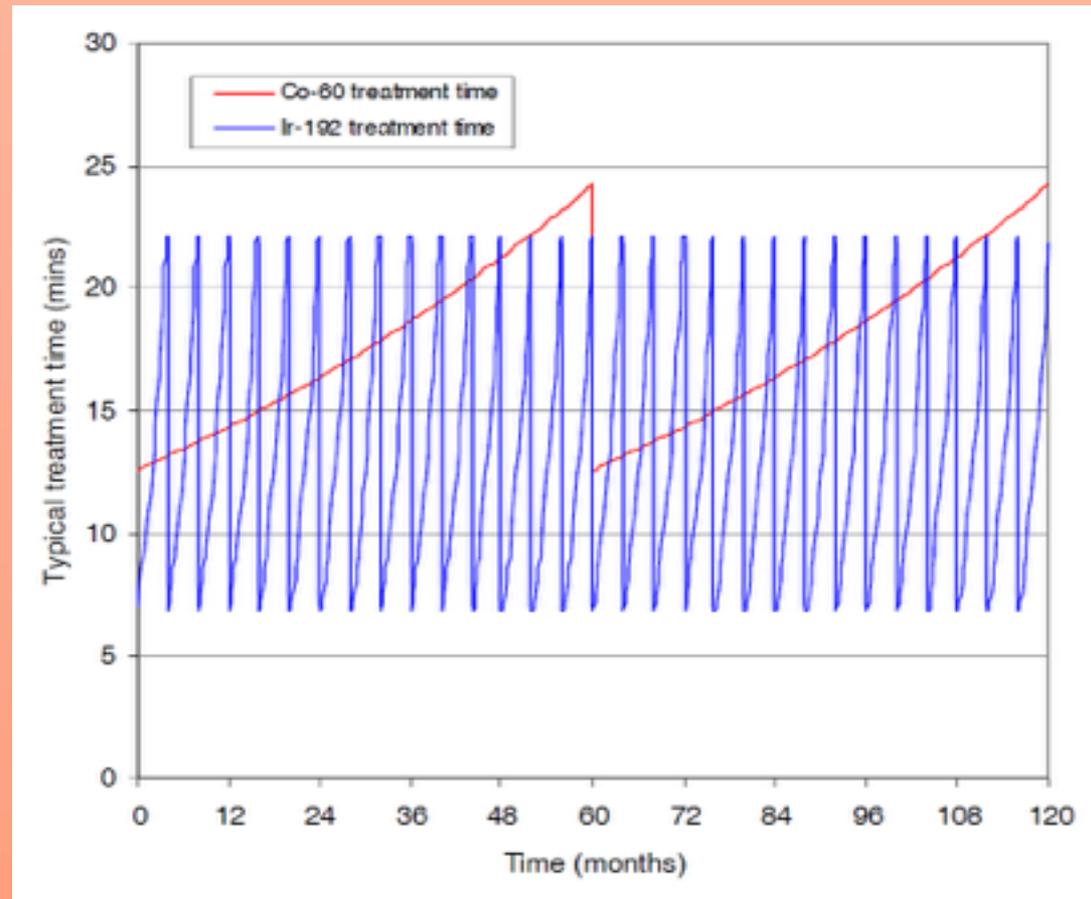
Co⁶⁰ versus Ir¹⁹²



*Down-Time total para
⁶⁰Co y ¹⁹²Ir-192 en 10 años*

Palmer et al 2010.

Co⁶⁰ versus Ir¹⁹²



*Tiempo de tratamiento
⁶⁰Co y ¹⁹²Ir-192 en 10 años*

Palmer et al 2010.

ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

1

• INTRODUCCIÓN

2

• CONCEPTOS FÍSICOS

3

• FUENTES SELLADAS

4

• **EQUIPOS DE BT-HDR**

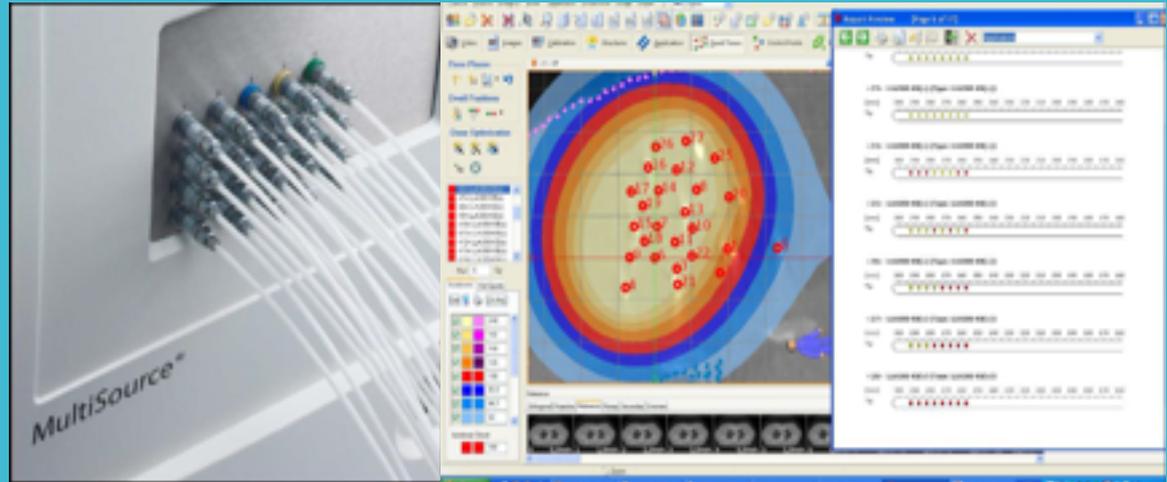
5

• COMENTARIOS FINALES

DISPOSITIVOS DE CARGA DIFERIDA REMOTA



DISPOSITIVOS DE CARGA DIFERIDA REMOTA



DISPOSITIVOS DE CARGA DIFERIDA REMOTA



VariSource iX



GammaMedplus iX



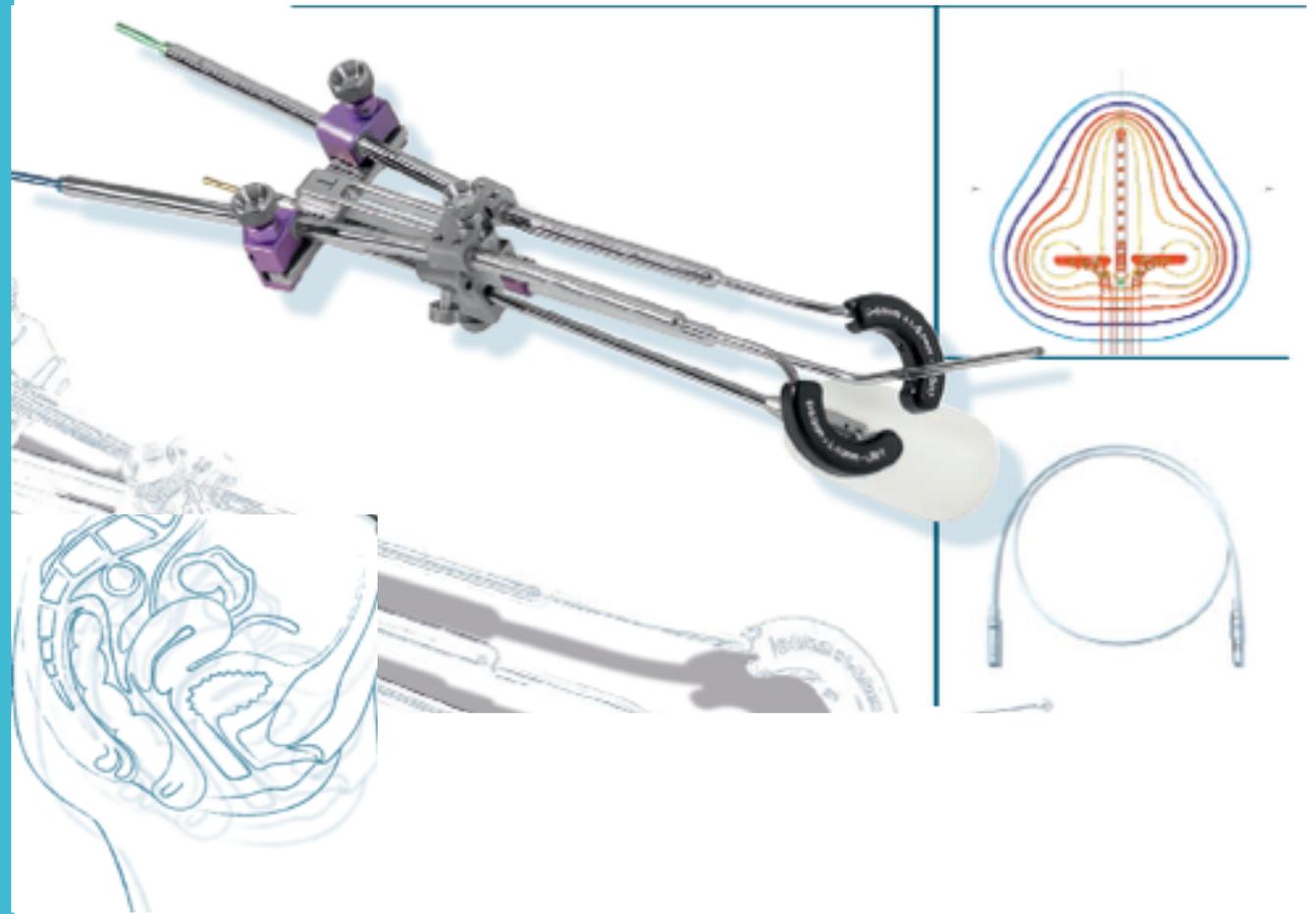
Aplicador Valencia: Evolución de ca. basocelular



APLICADORES

HDR

APLICADORES HDR



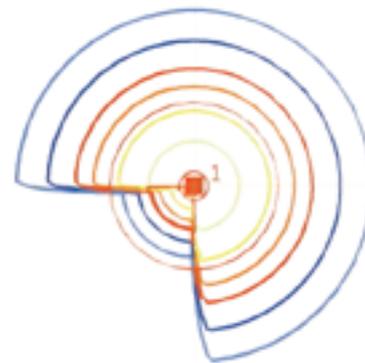
APLICADORES HDR



Variable dose shaping with 90° and 180° tungsten shielding segments to protect organs at risk.

Vagina, Rectum

Isodose

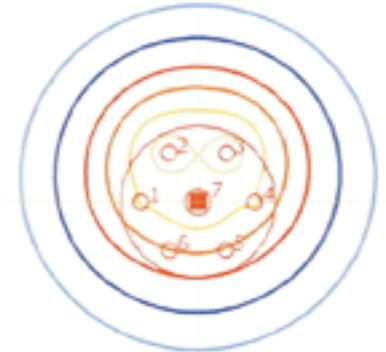


APLICADORES HDR

CT/MR Portio Applicator Set

SET0108

Isodose



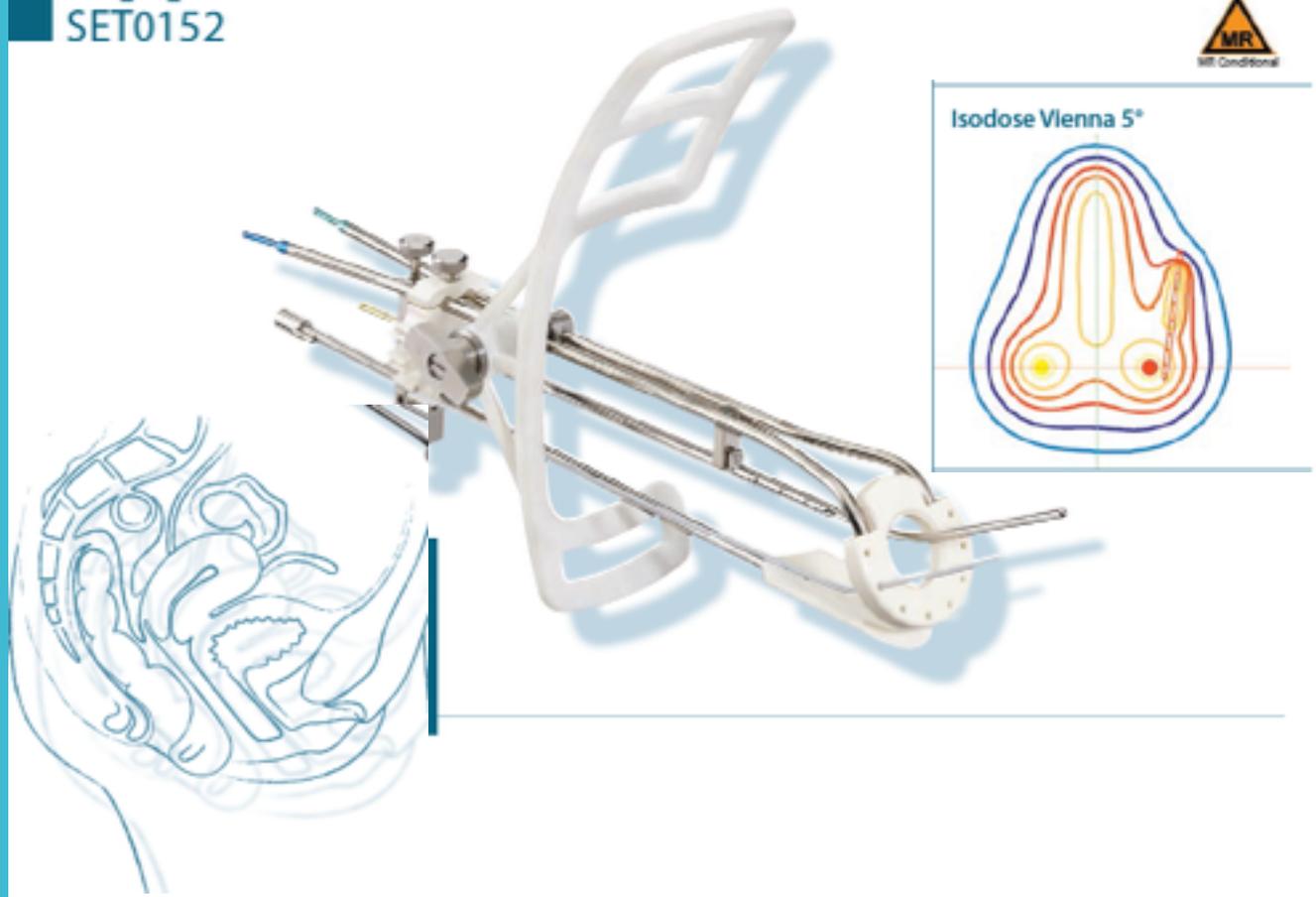
CT compatible and MR conditional multi-channel cylinder offering a flexible way to achieve asymmetrical dose distributions if needed.



Interstitial CT/MR Ring Applicator Set (60°)

SET0152

APLICADORES
HDR

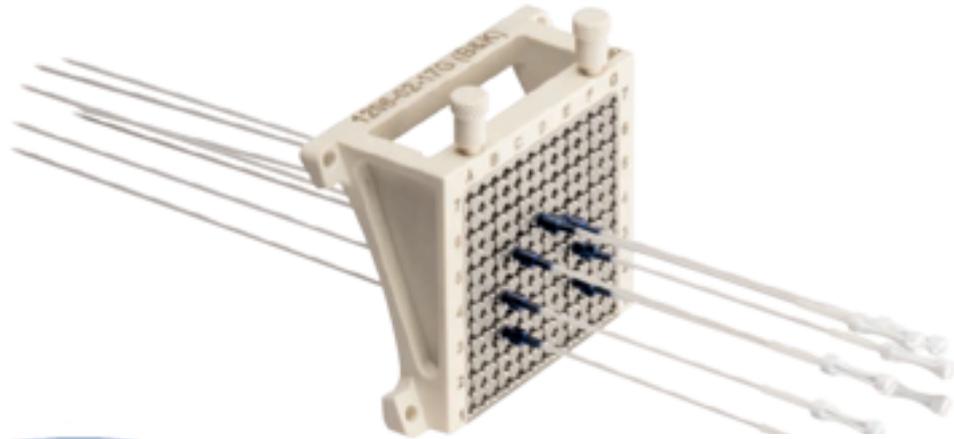


CT/MR Contour Prostate Template Sets

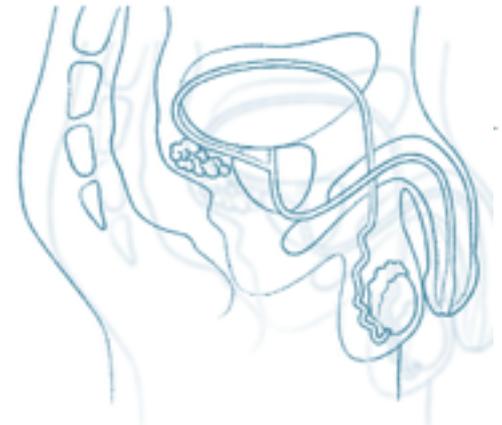
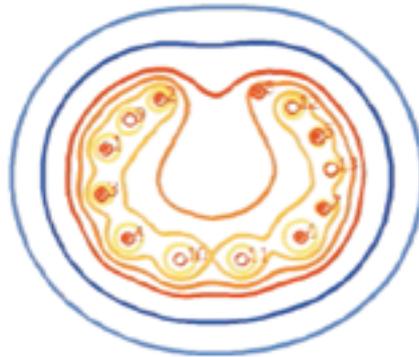
SETM1204-02-XX, SETM1204-04-XX, SETM1206-02-XX, SETM1206-04-XX



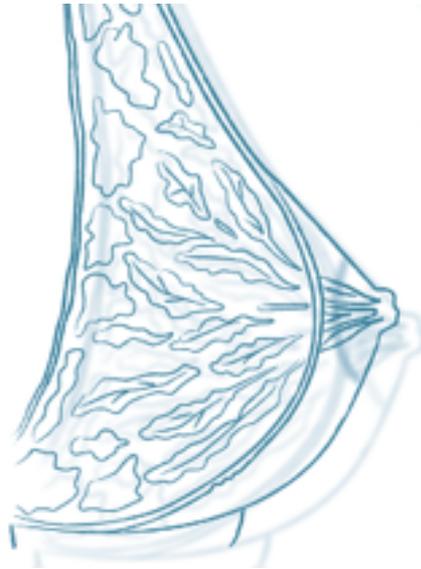
APLICADORES
HDR



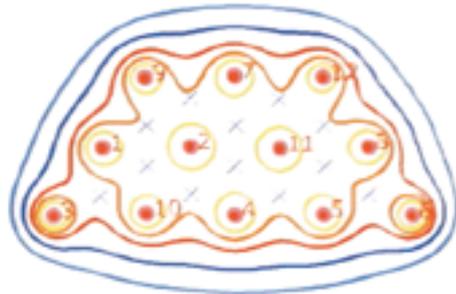
Isodose



APLICADORES HDR



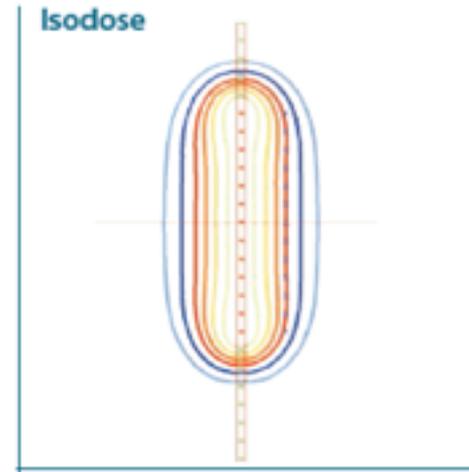
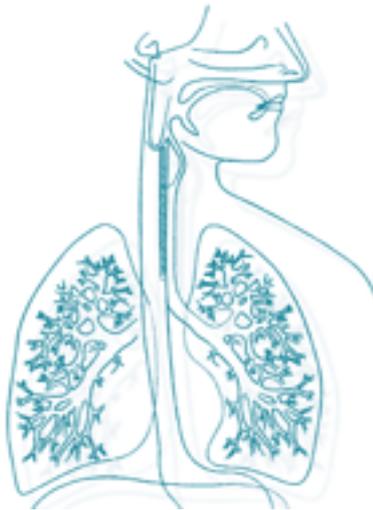
Isodose



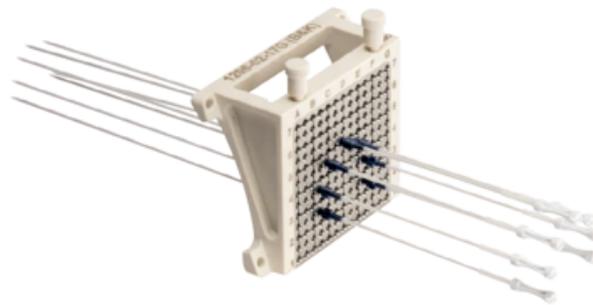
APLICADORES
HDR

Esophagus Applicator Set

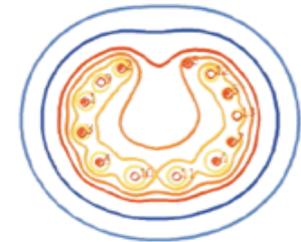
SET0119



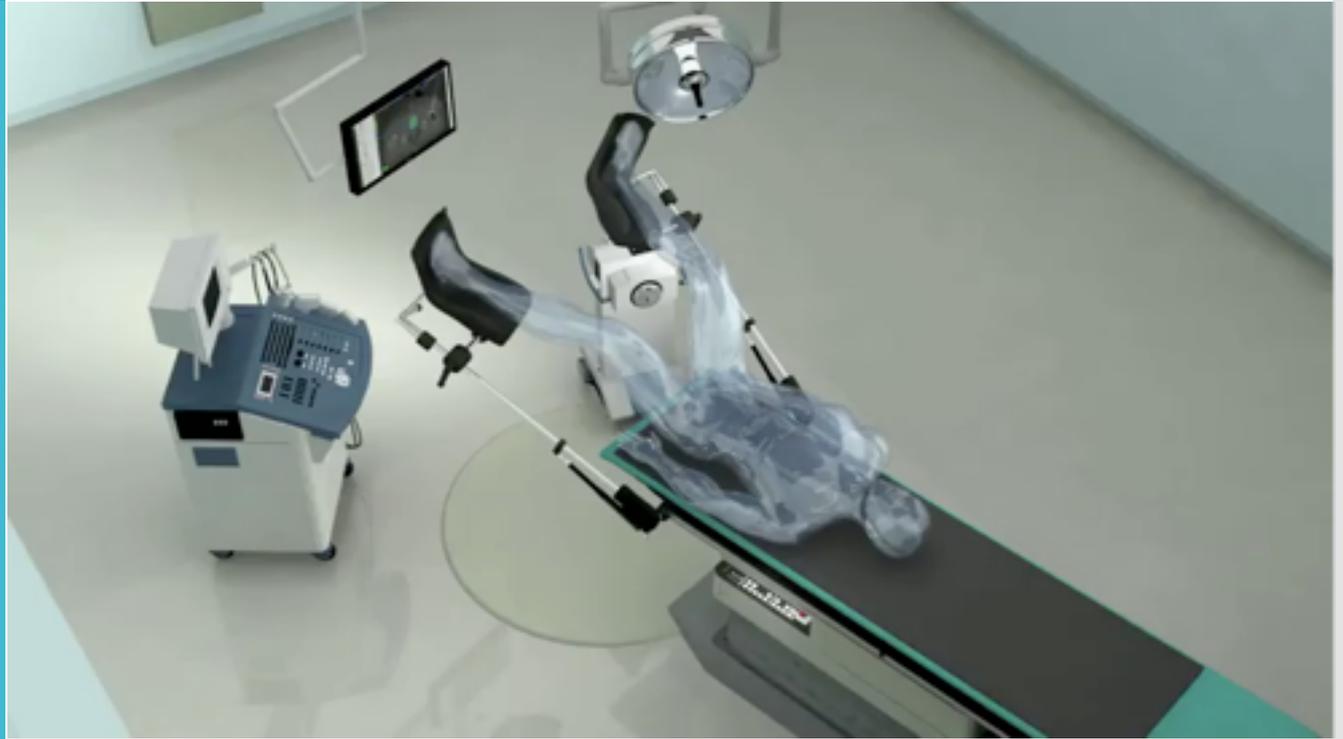
APLICADORES HDR



Isodose



BRAQUITERAPIA EN LA ACTUALIDAD



APLICADORES HDR

APLICADORES HDR

ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

1

• INTRODUCCIÓN

2

• CONCEPTOS FÍSICOS

3

• FUENTES SELLADAS

4

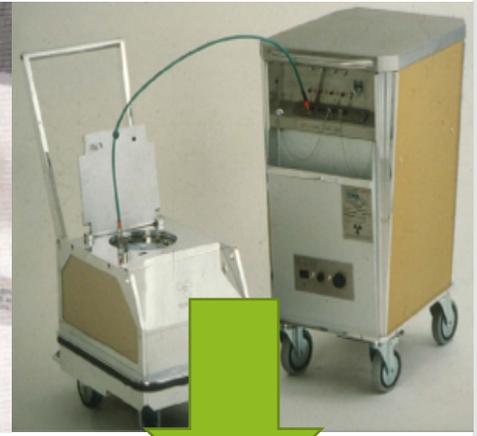
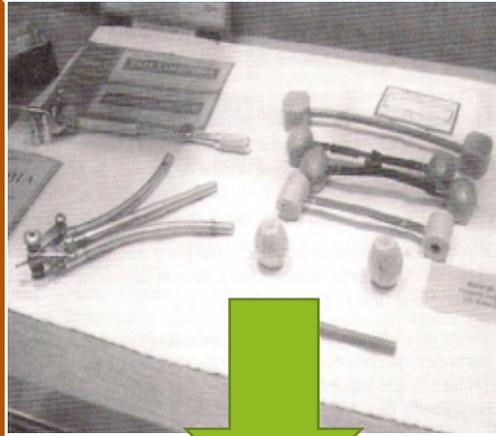
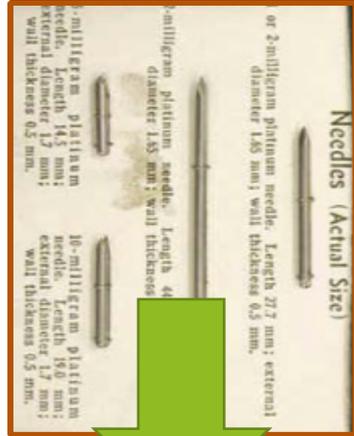
• EQUIPOS DE BT-HDR

5

• **COMENTARIOS FINALES**

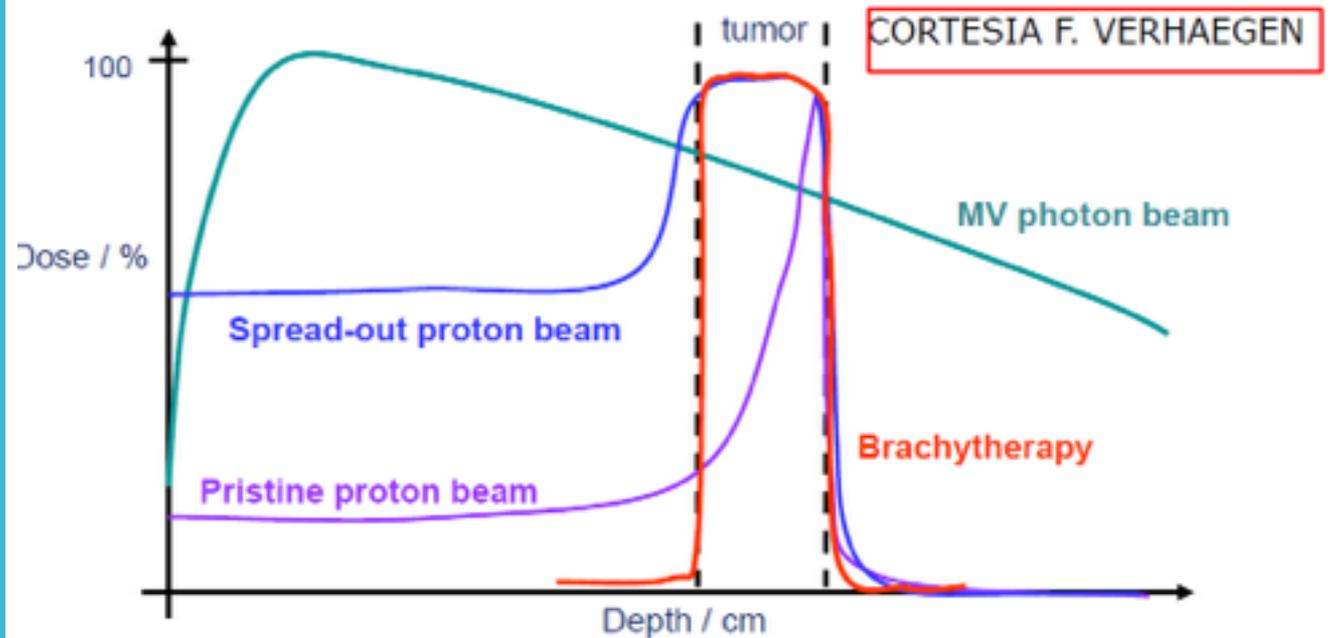
LA EVOLUCIÓN DE LA BRAQUITERAPIA

COMENTARIOS



LA VENTAJA COMPARATIVA DE LA BRAQUITERAPIA

Comparison of dose distributions: advantage of brachytherapy



COMENTARIOS

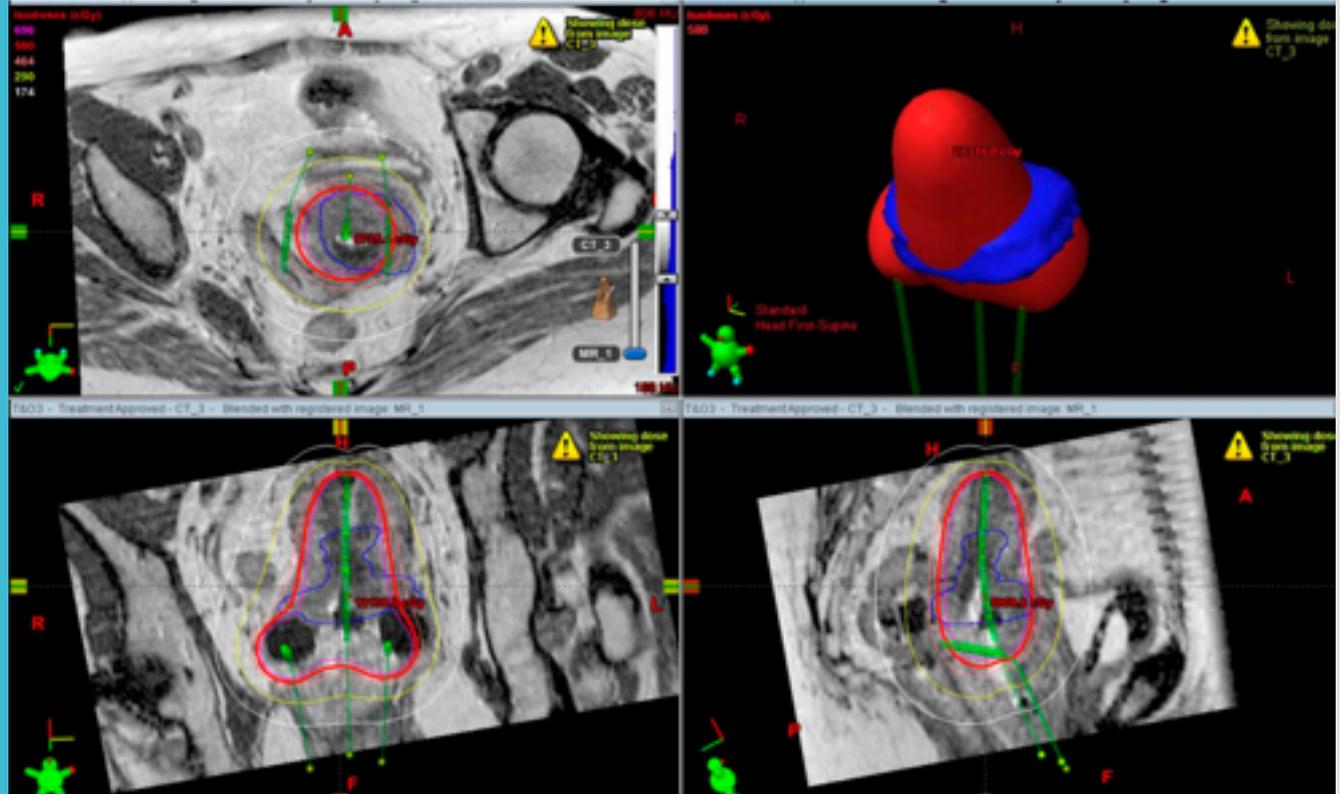
EL IMPACTO DE LAS IMÁGENES BRAQUITERAPIA

COMENTARIOS

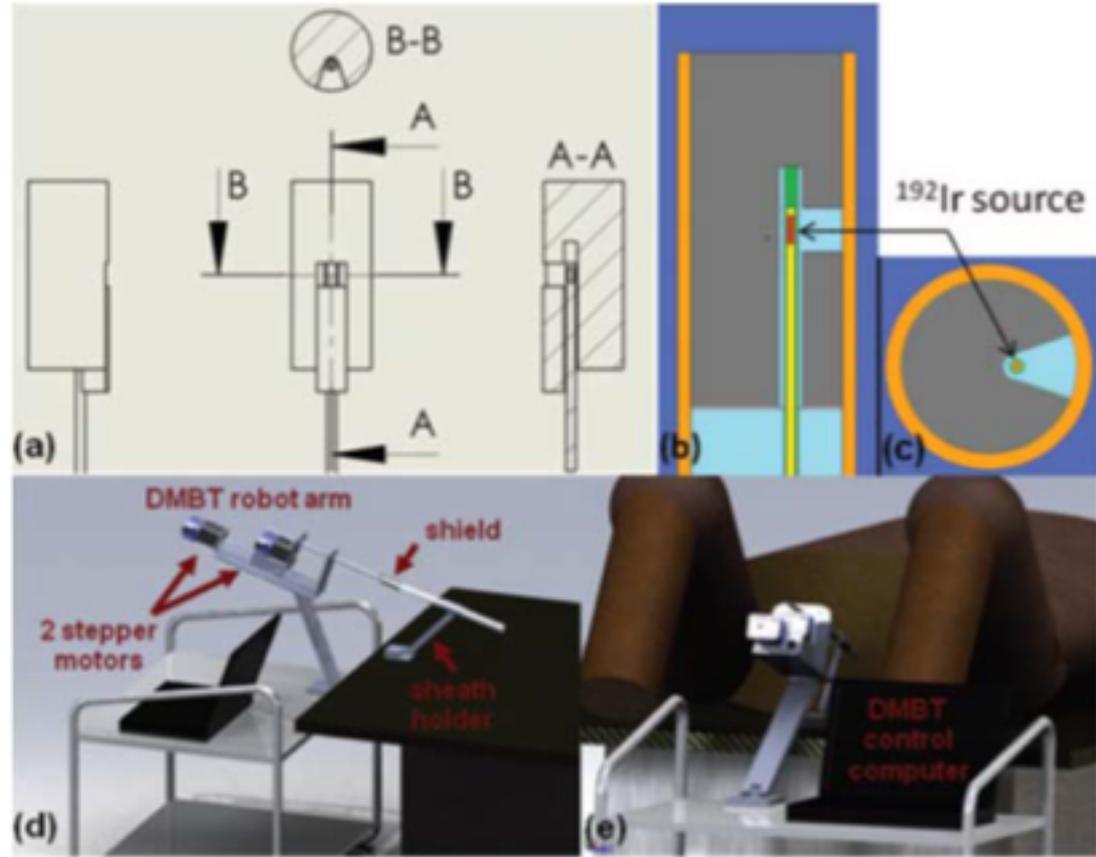


EL IMPACTO DE LAS IMÁGENES BRAQUITERAPIA

COMENTARIOS



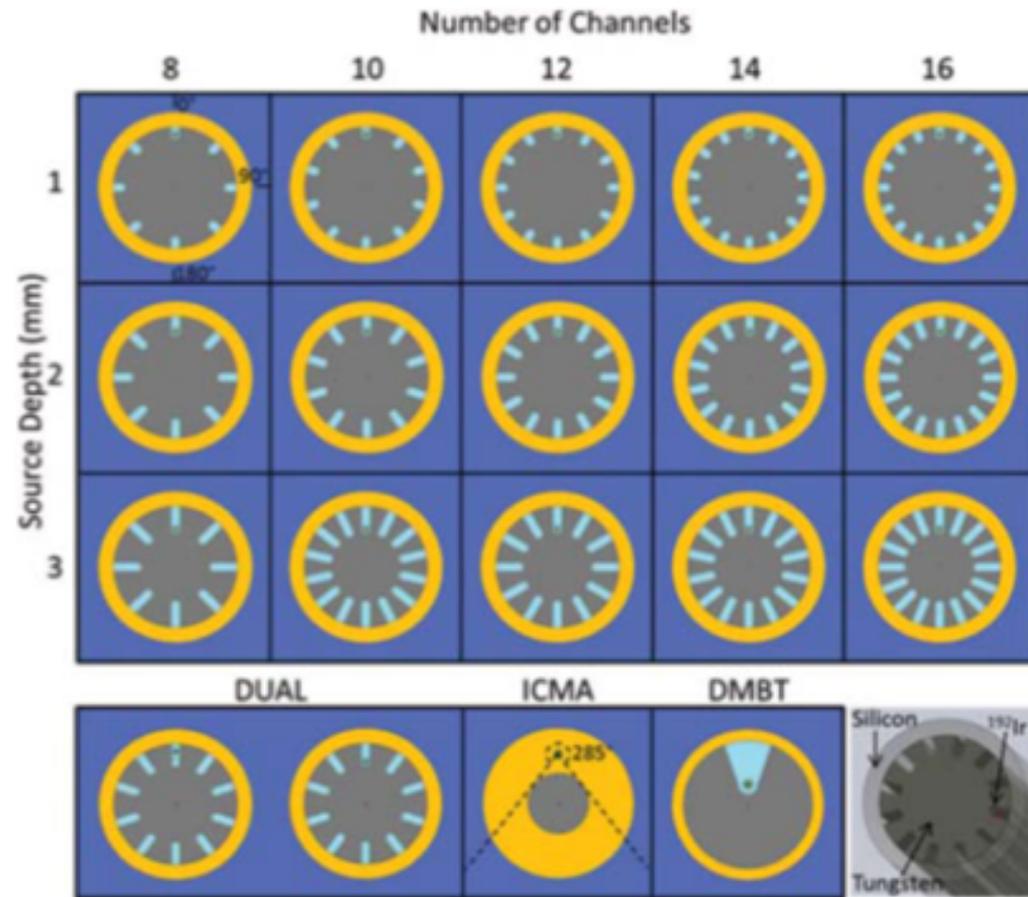
APLICADORES CON BLINDAJE EN BRAQUITERAPIA



Webster et al, *Med Phys* 40, 011718 (2013)

APLICADORES CON BLINDAJE EN BRAQUITERAPIA

COMENTARIOS



Webster et al, *Med Phys* 40, 091704 (2013)

HOSPITAL BASE VALDIVIA

GRACIAS !



ruben.yanez@redsalud.gov.cl