



# Jornada sobre seguridad del paciente en el uso de Radiaciones Ionizantes



Procedimientos para la evaluación dosimétrica en medicina nuclear.

José Antonio Miñano Herrero  
Jefe de Servicio de Radiofísica  
Hospital Universitario Reina Sofía  
Córdoba

# Introducción

La administración de sustancias radiactivas a humanos para diagnóstico, terapia, o fines de investigación es una rama bien establecida de la práctica médica, conocida por el nombre de "medicina nuclear e imagen molecular".

En los últimos años, la cantidad y el alcance de los tratamientos de radioterapia molecular o terapia con radionúclidos disponibles han aumentado de forma significativa. Estos proporcionarán nuevas opciones de tratamiento para muchos cánceres.

# Introducción

$^{131}\text{I}$ -NaI, para enfermedades tiroideas benignas,

$^{131}\text{I}$ -NaI, para la ablación de restos de tiroides de adultos.

$^{131}\text{I}$ -mIBG, para tratamiento de neuroblastomas.

$^{131}\text{I}$ -mIBG, para tratamiento de tumores neuroendocrinos.

Análogos de somatostatina marcados con  $^{177}\text{Lu}$  para tratamiento de tumores neuroendocrinos.

Análogos de somatostatina marcados con  $^{90}\text{Y}$  para tratamiento de tumores neuroendocrinos.

Microesferas de  $^{90}\text{Y}$  para tratamientos de tumores hepáticos.

$^{153}\text{Sm}$ -EDTMP,  $^{89}\text{SrCl}_2$ ,  $^{223}\text{RaCl}_2$ , para tratamiento de metástasis oseas.

# Directiva 2013/59/Euratom de 5 de diciembre de 2013 normas básicas seguridad

## Artículo 56. Optimización

Para todas las exposiciones médicas de pacientes con fines **radioterapéuticos**, las exposiciones del volumen blanco se **planificarán individualmente** y se verificará convenientemente su realización, teniendo en cuenta que las dosis de los volúmenes y tejidos fuera del blanco deberán ser lo más bajas que sea razonablemente posible y estarán de acuerdo con el fin radioterapéutico deseado de la exposición.

En la definición 81

Radioterapéutico: relativo a la radioterapia, incluida la medicina nuclear con fines terapéuticos.

# Directiva 2013/59/Euratom de 5 de diciembre de 2013 normas básicas de seguridad

Artículo 83. Experto en física médica.

1. Los Estados miembros exigirán que el experto en física médica actúe o aporte asesoramiento especializado, según proceda, en relación con las materias relativas a la física de la radiación, para aplicar los requisitos establecidos en el capítulo VII y en el artículo 22, apartado 4, letra c) de la presente Directiva.

2. Los Estados miembros velarán por que, dependiendo de la práctica médico-radiológica, **el experto en física médica asuma la responsabilidad de la dosimetría, incluidas las mediciones físicas para evaluar la dosis administrada al paciente u otras personas sometidas a exposición médica**, asesore sobre el equipo médico-radiológico y contribuya en particular a lo siguiente:

a) la optimización de la protección radiológica de los pacientes y otras personas sometidas a exposición médica, incluidos la aplicación y el uso de niveles de referencia para diagnóstico

# Proceso dosimétrico

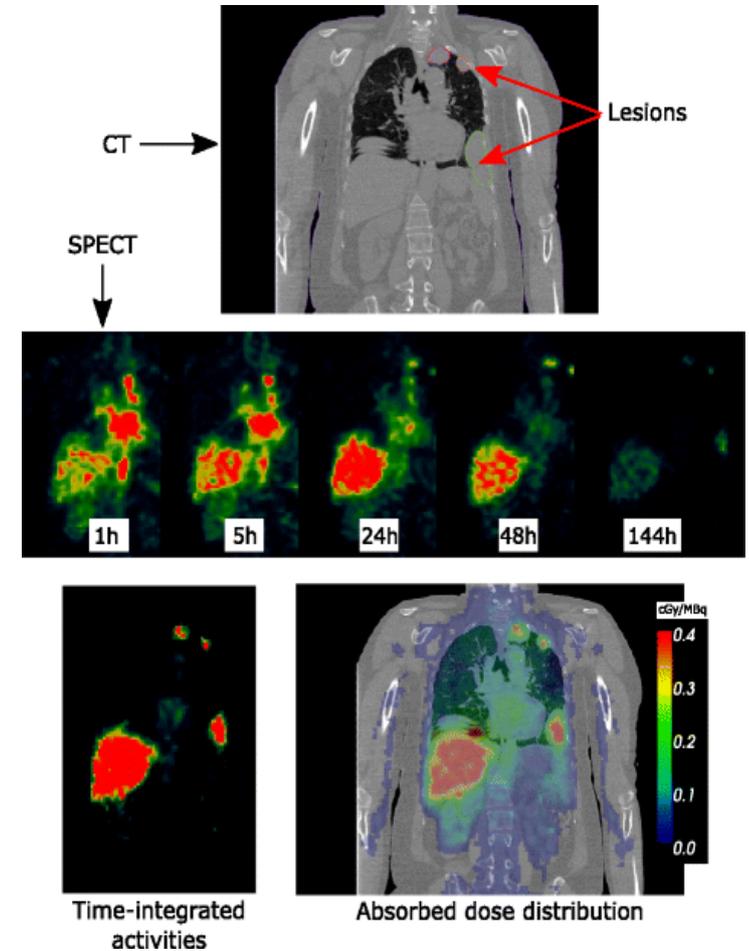
Base radiobiologica.

Dosimetría en Medicina Nuclear.

Algoritmos dosimétricos.

Equipamiento.

Informe EANM.



# Las 5 R de la Radioterapia

**Repoblación:** Las células, tanto normales como tumorales, tumorales como normales inician un proceso de proliferación tras la exposición a la radiación como una respuesta fisiológica a la disminución del número de células.

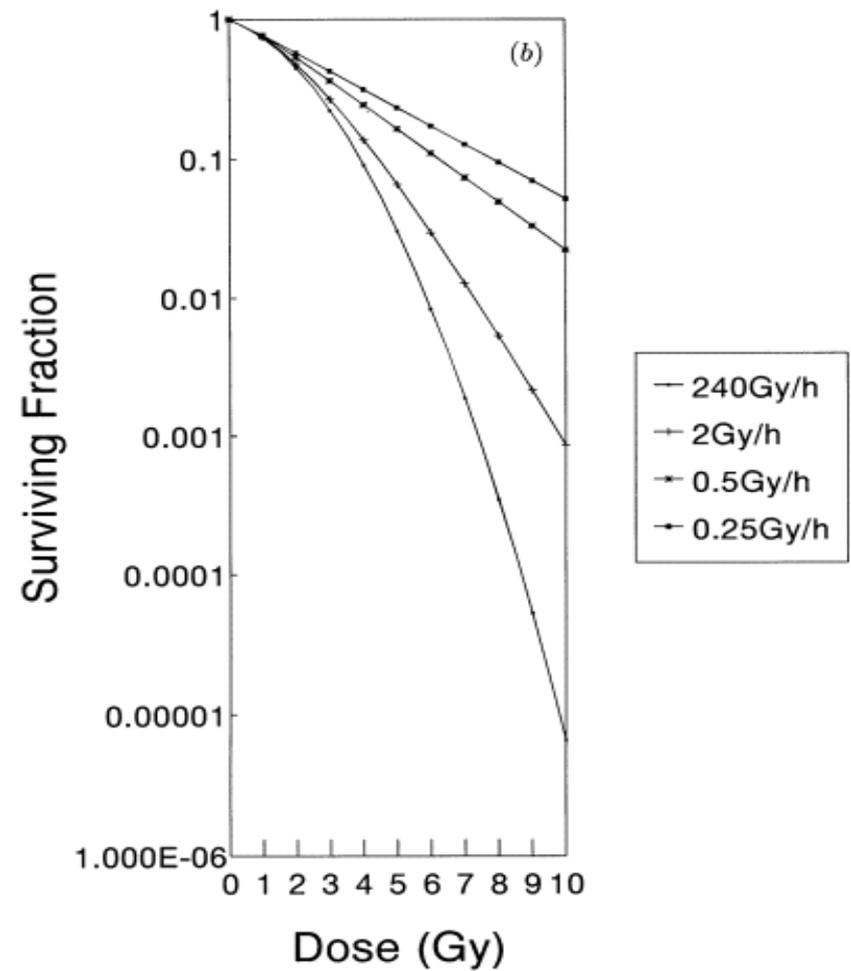
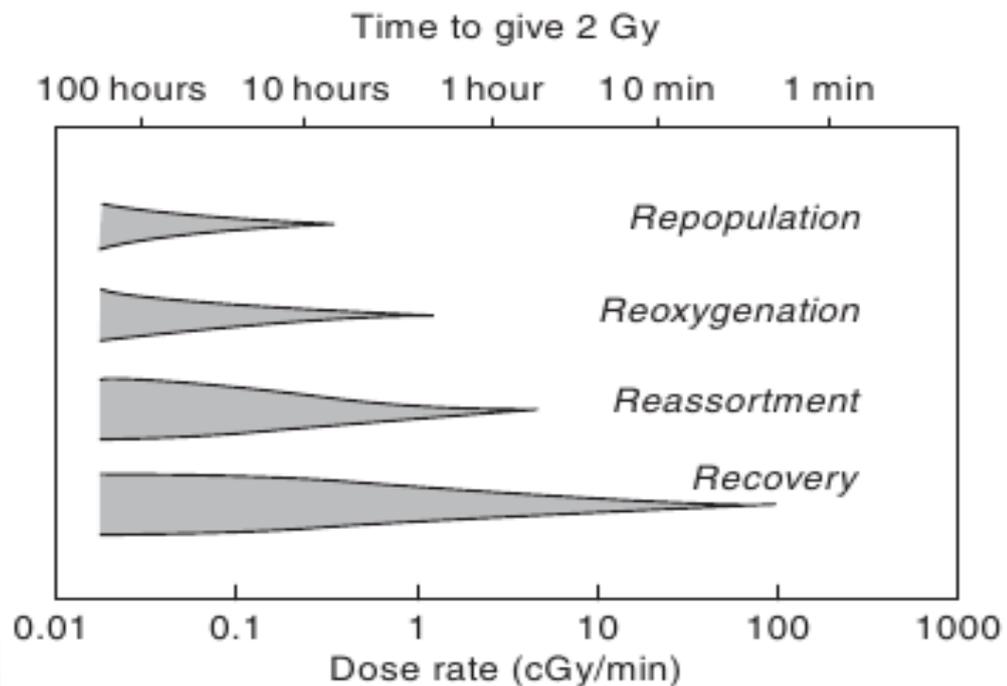
**Reparación:** las células, tanto normales como tumorales, responden a la radiación con una capacidad de reparación del daño subletal.

**Redistribución:** Dentro del ciclo celular, las células pasan de fases más radio resistente a más sensibles y por tanto a lo largo del tratamiento serán tratadas.

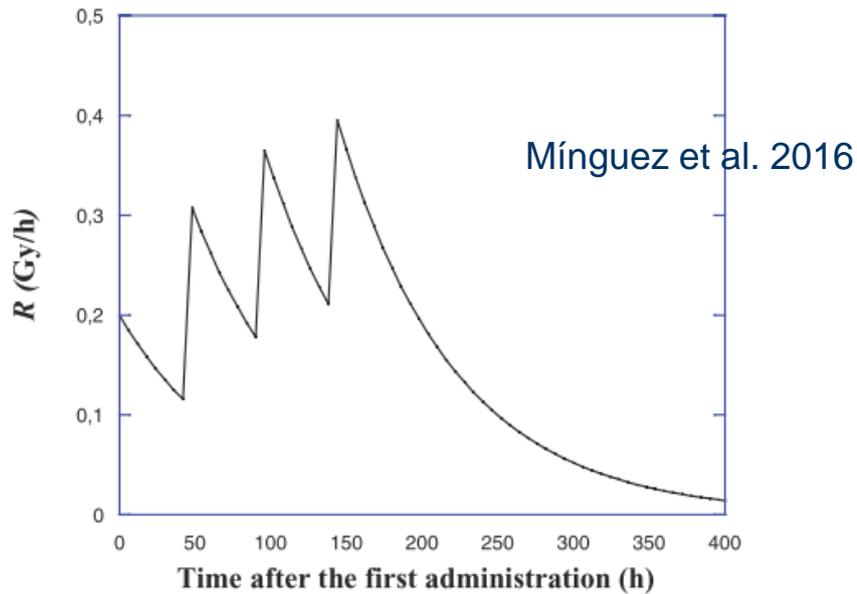
**Reoxigenación:** La vascularización del tumor es irregular. Hay regiones hipóxicas y necróticas en el tejido tumoral.

**Radiosensibilidad:** directamente proporcional a la mitosis e inversamente proporcional a la diferenciación.

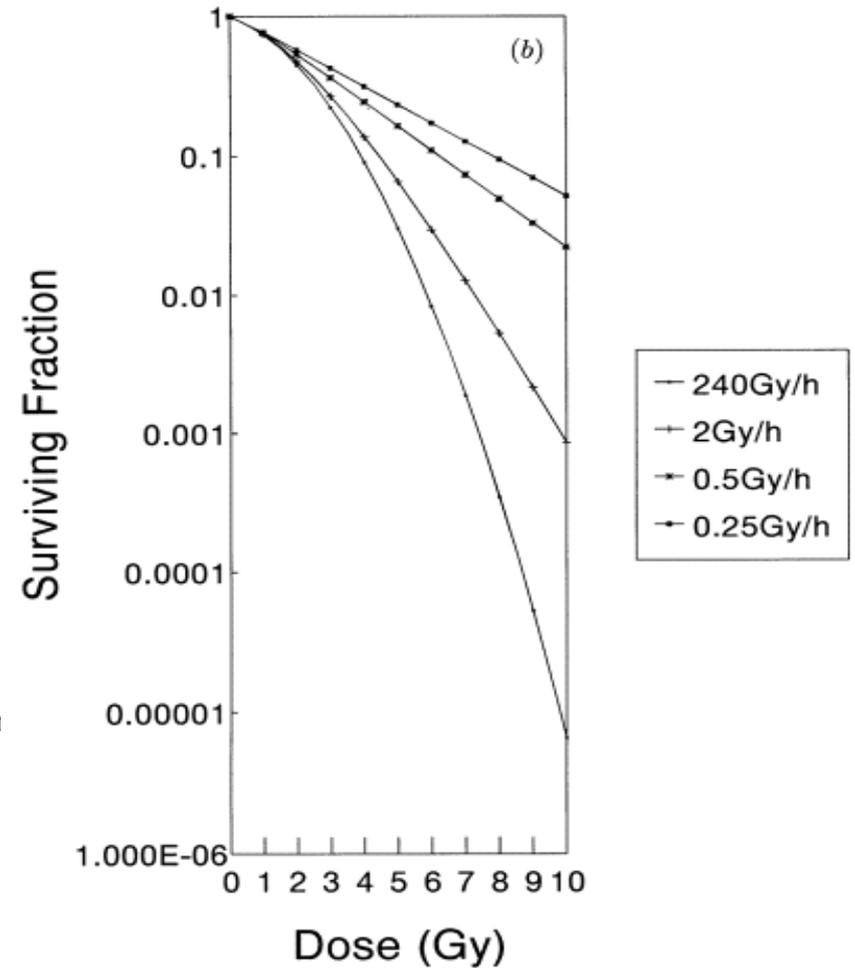
# Las 5 R de la Radioterapia



# Las 5 R de la Radioterapia



**Figure 1.** Absorbed-dose rate,  $R$ , as a function of time for four administration separated by a  $\Delta t$  of 48 h.



Biologically effective dose in fractionated molecular radiotherapy—application to treatment of neuroblastoma with  $^{131}\text{I}$ -mIBG

# Relación dosis-respuesta o de control tumoral

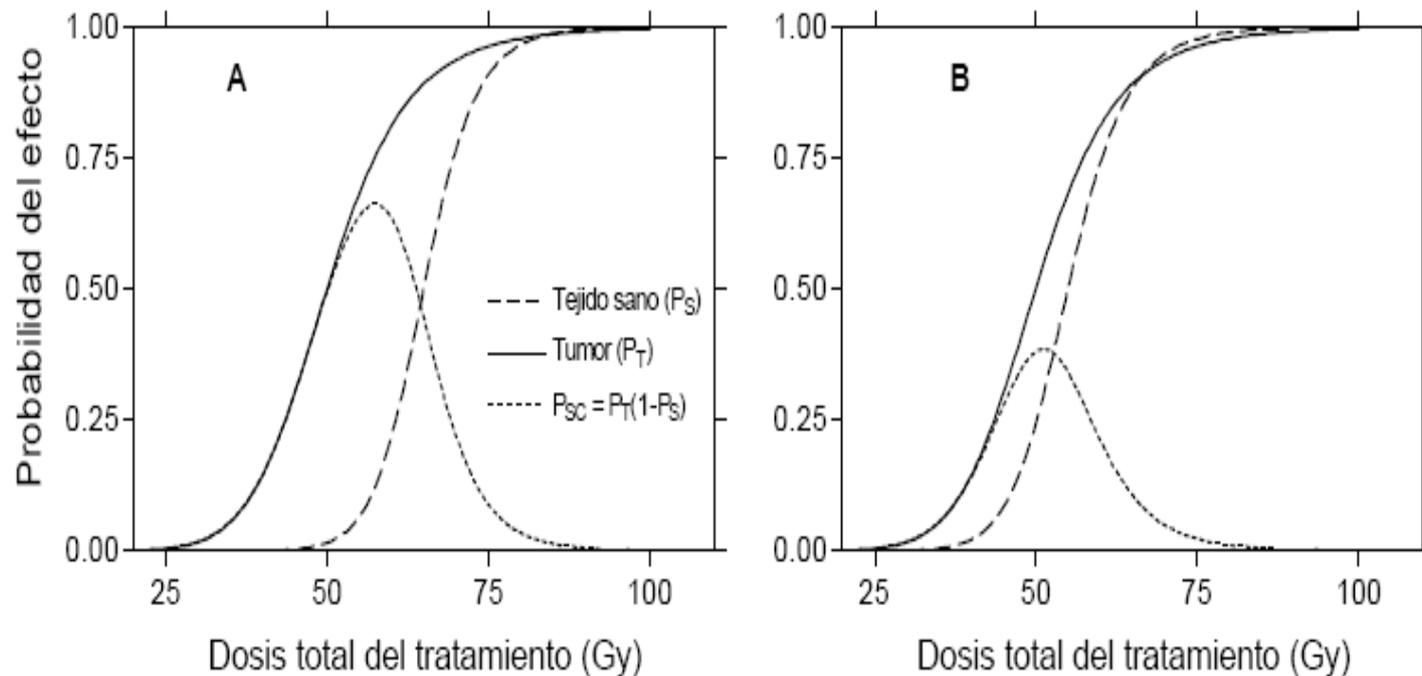


Figura 3.1: Curvas de probabilidad de control tumoral ( $P_T$ ), probabilidad de daño sobre el tejido sano ( $P_S$ ) y probabilidad de control tumoral sin complicaciones ( $P_{SC}$ ) en dos casos: (A) puede conseguirse una probabilidad de control tumoral alta con baja toxicidad; (B) si la probabilidad de control tumoral es alta, también lo es la toxicidad.

# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Formalismo MIRD

La **dosis absorbida media  $D_T$**  en un órgano diana o tejido T es la suma de las contribuciones,  $D(T \leftarrow S)$ , derivadas de las transformaciones nucleares del radionúclido en varios órganos fuente S

$$D_T = \sum_S D(T \leftarrow S)$$

Con este método más directo, la dosis absorbida en T de una radionucleido en un solo órgano fuente, S, está dado por:

$$D(T \leftarrow S) = \tilde{A}_S \times S(T \leftarrow S)$$

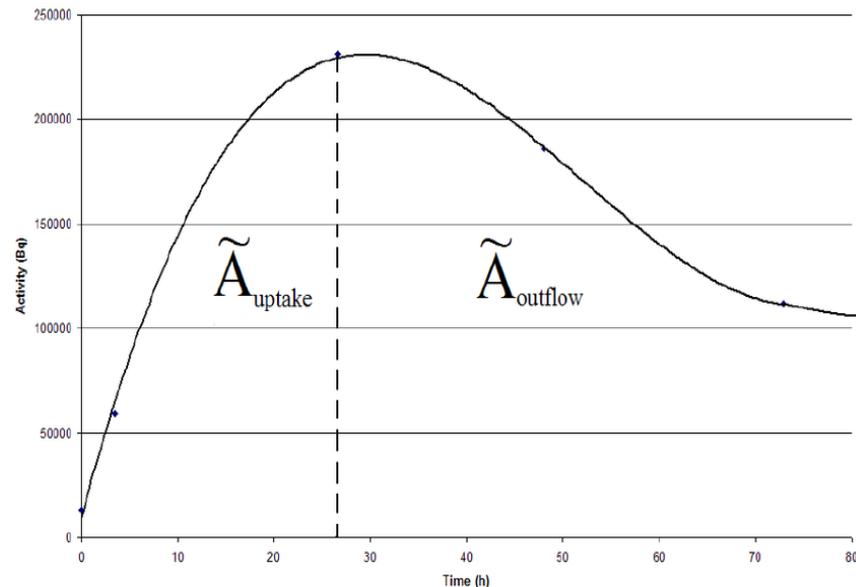
# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Formalismo MIRD

$$D(T \leftarrow S) = \tilde{A}_S \times S(T \leftarrow S)$$

Donde:

La actividad acumulada o integrada,  $A$ , en un órgano o tejido fuente depende de la actividad administrada, la semivida física, y la biocinética del radiofármaco.



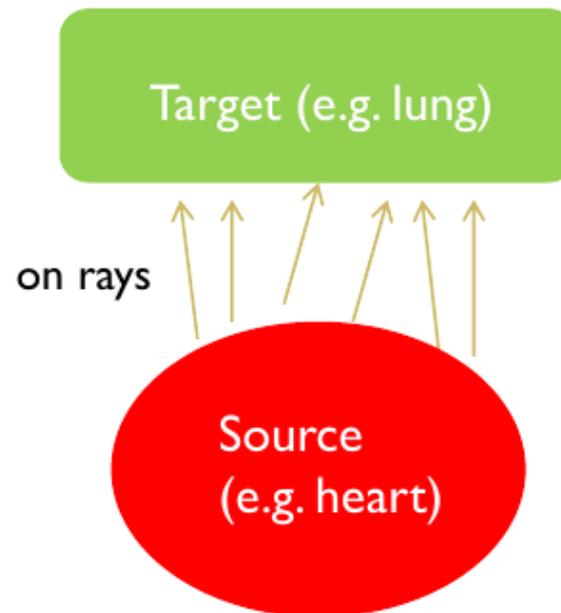
# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Formalismo MIRD

$$D(T \leftarrow S) = \tilde{A}_S \times S(T \leftarrow S)$$

Donde:

El valor de S depende de la energía emitida en cada transformación, tipo de radiación, la energía emitida por la transformación, la masa del órgano blanco, y la disposición y forma tanto de los órganos fuente como del órgano blanco.

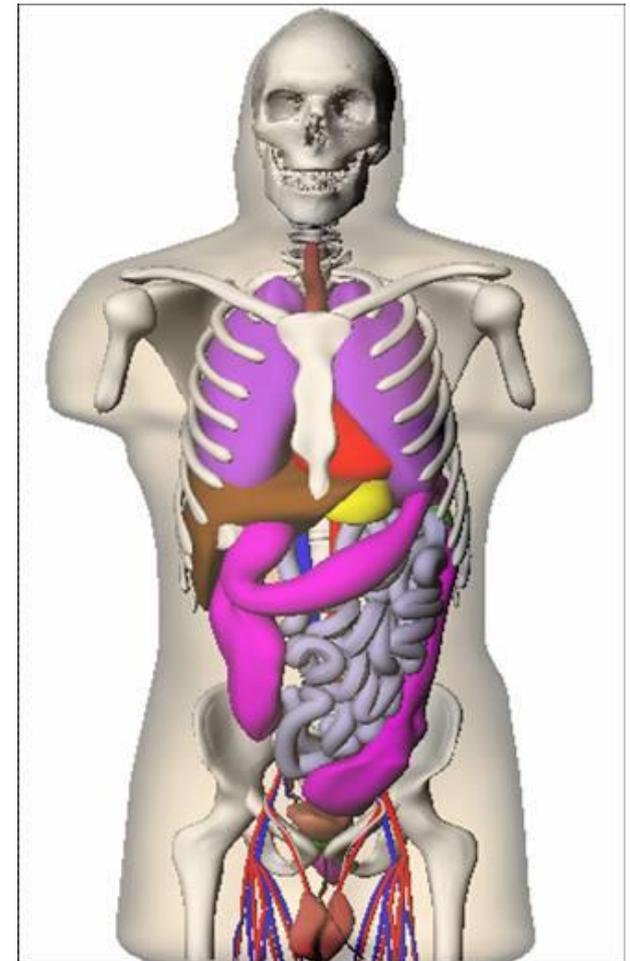
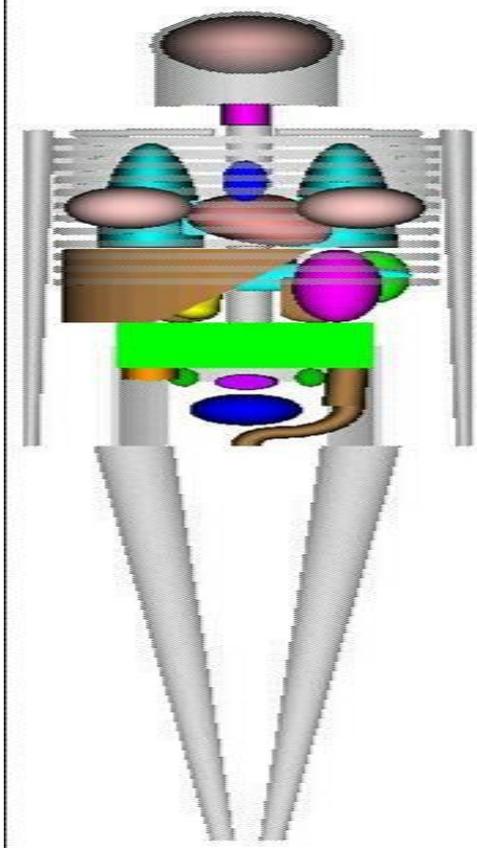


# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Formalismo MIRD

$$D_T = \sum_S D(T \leftarrow S)$$

$$D(T \leftarrow S) = \tilde{A}_S \times S(T \leftarrow S)$$



# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Formalismo MIRD

**Recommendations of the American Association of Physicists in Medicine on dosimetry, imaging, and quality assurance procedures for  $^{90}\text{Y}$  microsphere brachytherapy in the treatment of hepatic malignancies**

El esquema MIRD es el estándar de dosimetría actual en tratamientos con microesferas de  $^{90}\text{Y}$ . Este esquema supone una distribución uniforme de la actividad en toda la masa de interés.

The schema developed by the Medical Internal Radiation Dose (MIRD) Committee of the Society of Nuclear Medicine is the current dosimetry standard for  $^{90}\text{Y}$  microspheres.<sup>27</sup> This schema assumes a uniform distribution of the activity throughout the mass of interest. The dose rate in a

$$D[\text{Gy}] = 49.38 \frac{A_0[\text{GBq}]}{m[\text{kg}]}$$

# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Formalismo MIRD

Recommendations of the American Association of Physicists in Medicine on dosimetry, imaging, and quality assurance procedures for  $^{90}\text{Y}$  microsphere brachytherapy in the treatment of hepatic malignancies

The schema developed by the Medical Internal Radiation Dose (MIRD) Committee of the Society of Nuclear Medicine is the current dosimetry standard for  $^{90}\text{Y}$  microspheres.<sup>27</sup> This schema assumes a uniform distribution of the activity throughout the mass of interest. The dose rate in a

10 km		266
A-66	León < 5000 Km	79
A-66	AP-66 Oviedo	182
A-52	Ourense > 10	244

# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Formalismo orientado a los procedimientos terapéuticos

**Recommendations of the American Association of Physicists in Medicine on dosimetry, imaging, and quality assurance procedures for  $^{90}\text{Y}$  microsphere brachytherapy in the treatment of hepatic malignancies**

Uso de imágenes del paciente obtenidas mediante SPECT/CT.

Cálculo de dosis a voxel que permite determinar la distribución de dosis 3D en los distintos órganos.

Histogramas dosis-volumen (DVH).

# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Formalismo orientado a los procedimientos terapéuticos

### MIRD Pamphlet No. 17: The Dosimetry of Nonuniform Activity Distributions—Radionuclide S Values at the Voxel Level

La dosimetría a nivel de voxel se define como el cálculo de la dosis absorbida de radiación en los tejidos con dimensiones que varían desde unos pocos centímetros hasta cientos de micrómetros.

Este nivel de dosimetría es de interés en:

1. Radioinmunoterapia con anticuerpos monoclonales radiomarcados;
2. Terapia con yodo radiactivo del carcinoma de tiroides.
3. Inyección intratumoral de radiofármacos terapéuticos.

# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Formalismo orientado a los procedimientos terapéuticos

### MIRD Pamphlet No. 17: The Dosimetry of Nonuniform Activity Distributions—Radionuclide S Values at the Voxel Level

Tanto el tumor como los tejidos normales tienen distribuciones no uniformes de la actividad por la farmacocinética del radiofármaco.

Los "puntos fríos" que se desarrollan por la falta de uniformidad de la dosis pueden permitir el recrecimiento del tumor y que sobrevivan las células cancerígenas; **en consecuencia, la dosis absorbida media por el tumor no es el parámetro útil para evaluar los resultados clínicos. El cálculo de contornos de isodosis o DVH dentro de estas regiones es, por lo tanto, deseable.**

# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Algoritmos de cálculo



Dosimetría en Medicina Nuclear  
en procedimientos terapéuticos



Dosimetría en Radiodiagnóstico y  
Medicina Nuclear diagnóstica



Dosimetría en Oncología  
Radioterápica

Algoritmo de convolución  
superposición basado en kernels

Algoritmo de Monte Carlo



# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Equipamiento



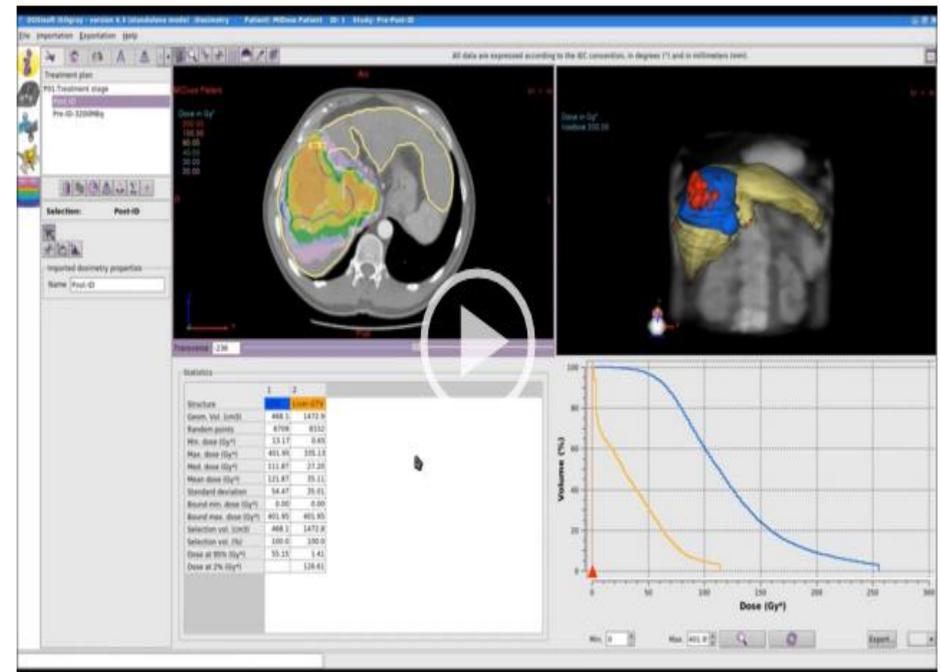
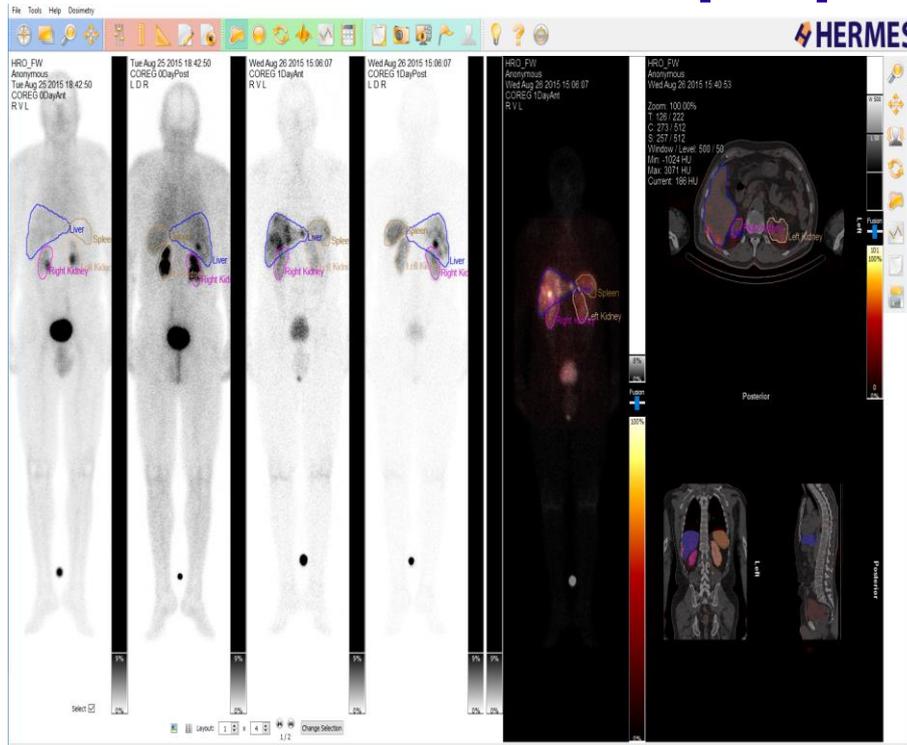
SPECT/CT



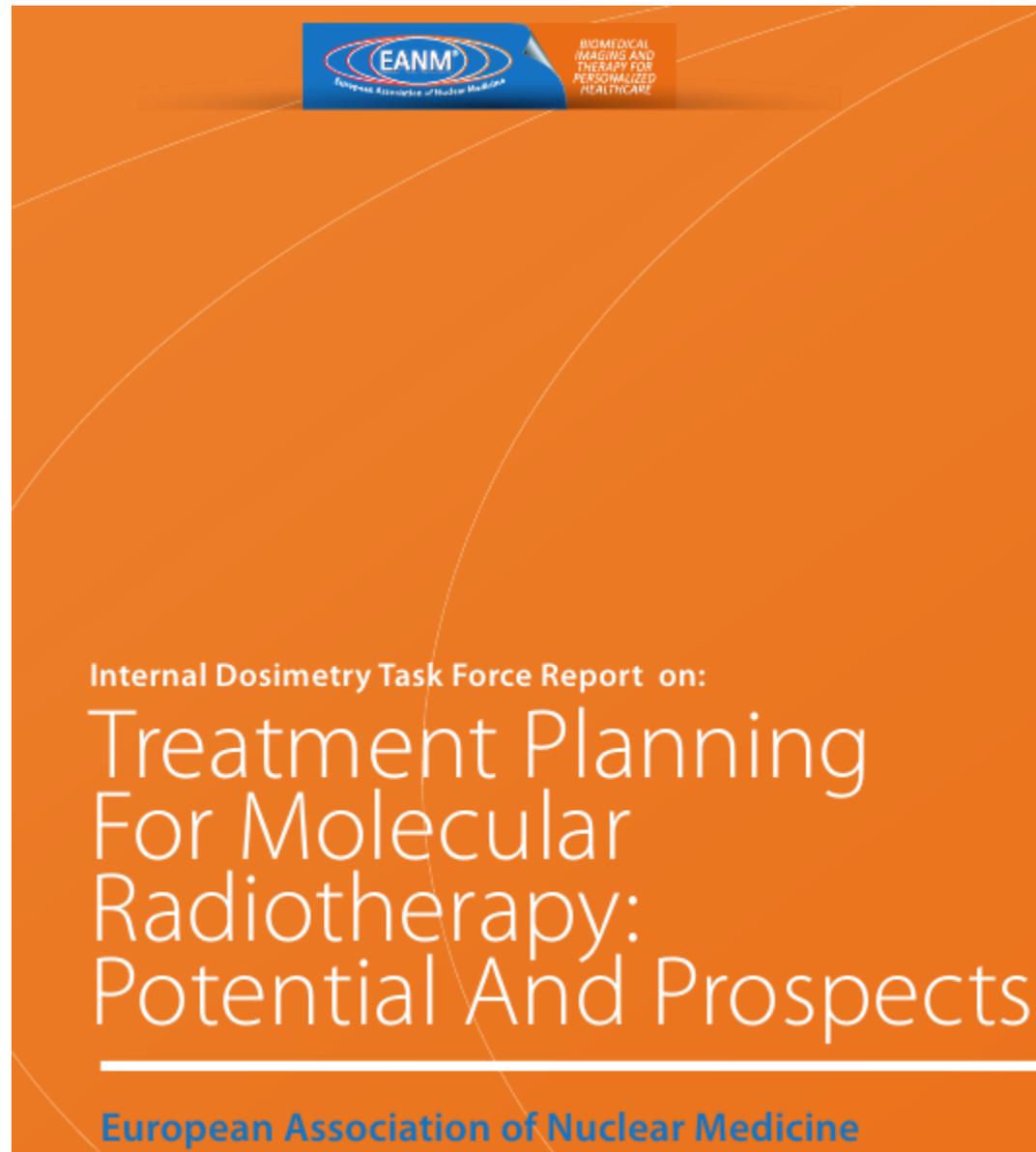
PET/CT

# Dosimetría en Medicina Nuclear

## Equipamiento



# Informe de la EANM



# Informe de la EANM

Una encuesta realizada en Europa muestra una **amplia gama de prácticas en términos de prescripciones de tratamiento**, tanto entre diferentes centros como entre diferentes centros en los mismos países. Aunque la directiva de seguridad exige la participación de expertos en física médica en los procedimientos terapéuticos, esto ocurre en la actualidad 1 de cada 3 casos.

En casi todos los procedimientos terapéuticos se ha demostrado la posibilidad de realizar la dosimetría específica del paciente basada en imágenes. Esto permite la verificación de las dosis absorbidas en el tumor y en los órganos sanos.

La radioterapia molecular (MRT) es un área muy multidisciplinar.

Todos los procedimientos de terapia han demostrado el potencial de ser altamente efectivos. **Es probable que la individualización del tratamiento basada en la dosimetría mejore significativamente esta efectividad, aunque debe contar con los recursos adecuados.**

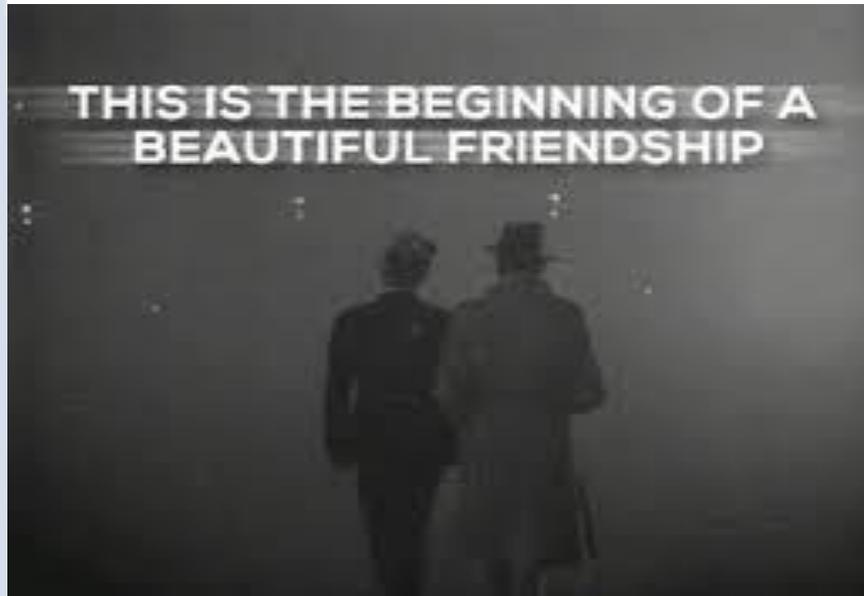
# Conclusiones

La dosimetría individualizada es requerida en la DIRECTIVA 2013/59/EURATOM por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes.

La dosimetría individualizada es avalada por sociedades científicas como forma de optimizar la calidad y la seguridad de este tipo de procedimiento.

La dosimetría individualizada requiere de la necesaria dotación de recursos.

Es muy interdisciplinar.



[desmotivaciones.es](http://desmotivaciones.es)

Ojalá así iniciaran las amistades

Louis, presiento que este es el comienzo de una gran amistad