

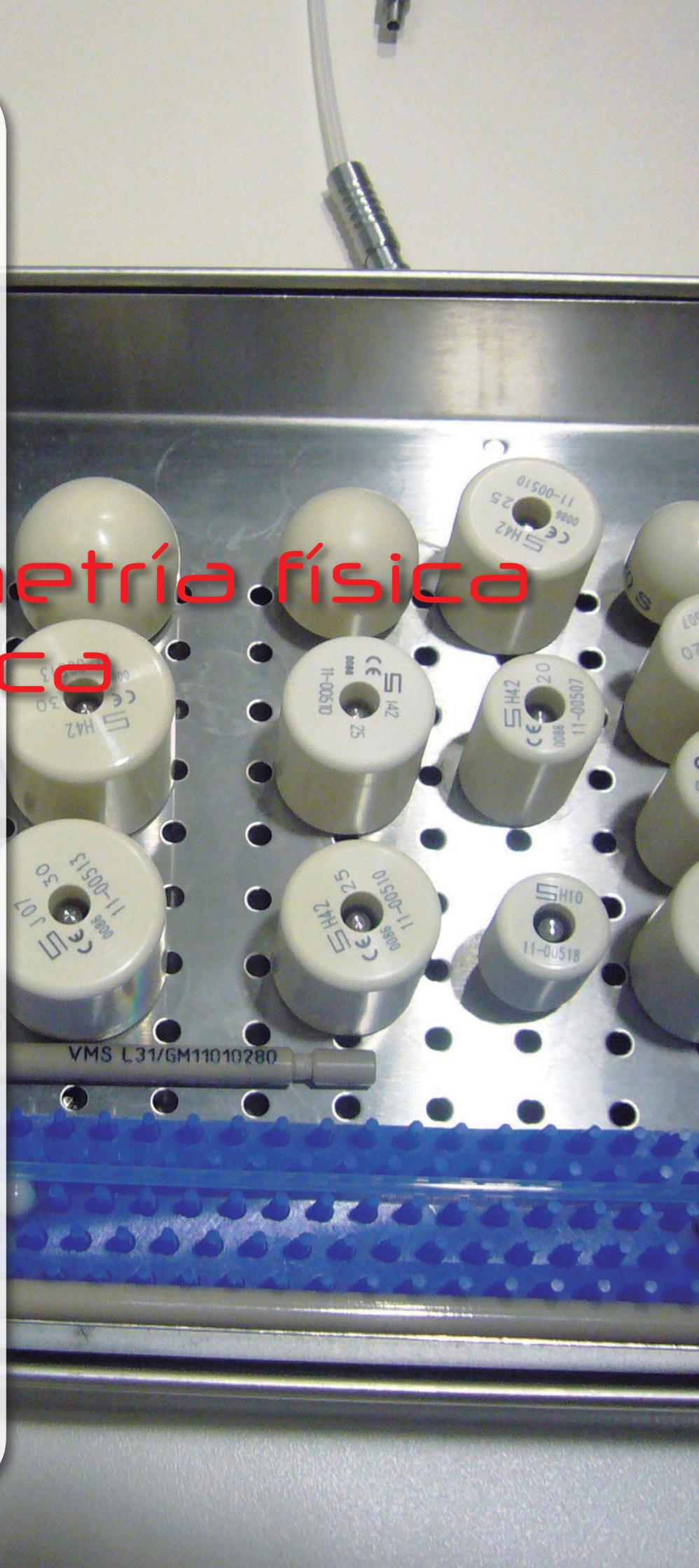
Técnico Superior
en Radioterapia
y Dosimetría

Dosimetría física y clínica

Coordinadores

*Jaume Quera Jordana
Manuel Algara López*

ARÁN



Autores

Coordinadores

Jaume Quera Jordana

Licenciado en Ciencias Físicas. Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Responsable de la Sección de Física. Servicio de Radioterapia Oncológica. Hospital de l'Esperança. Parc de Salut Mar de Barcelona
Profesor en la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona

Manuel Algara López

Jefe del Servicio de Oncología Radioterápica del Parc de Salut Mar de Barcelona
Profesor Asociado de los Grados de Medicina, Biología Humana y Bioingeniería en la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona
Coordinador de Diagnóstico por la Imagen y Radioterapia del Grado de Medicina, de Diagnóstico por la Imagen del Grado de Biología y de Sistemas de Imagen Biomédica del Grado de Bioingeniería de la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona
Profesor del Módulo de Técnico Superior de Radioterapia en el Institut Bonanova de Barcelona

Autores

Sebastià Agramunt Chaler

Licenciado en Ciencias Físicas. Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Servei de Física Mèdica i Protecció Radiològica. Institut Català d'Oncologia. Girona

Alberto Cano Herranz

Licenciado en Ciencias Físicas. Residente de Radiofísica Hospitalaria. Servicio de Física y Protección Radiológica. Hospital Universitario Vall d'Hebron. Barcelona

Montserrat Colomer Truyols

Licenciada en Física. Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Responsable de Radiofísica. Unitat de Radiofísica. Servei d'Oncologia Radioteràpica. Consorci Sanitari de Terrassa. Terrassa, Barcelona

Marcelino Hermida López

Licenciado en Ciencias Físicas. Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Servicio de Física y Protección Radiológica. Hospital Universitario Vall d'Hebron. Barcelona

Diego Jurado Bruggeman

Licenciado en Ciencias Físicas. Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Servei de Física Mèdica i Protecció Radiològica. Institut Català d'Oncologia. Girona

Carles Muñoz Montplet

Licenciado en Ciencias Físicas. Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Servei de Física Mèdica i Protecció Radiològica. Institut Català d'Oncologia. Girona

David Navarro Giménez

Licenciado en Física. Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Radiofísico Adjunto. Unitat de Radiofísica. Servei d'Oncologia Radioteràpica. Consorci Sanitari de Terrassa. Terrassa, Barcelona

Òscar Pera Cegarra

Radiofísico Adjunto. Servicio de Oncología Radioterápica. Hospital de l'Esperança-Parc de Salut Mar. Barcelona

Antoni Ramírez Muñoz

Doctor en Física. Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Radiofísico Adjunto. Unitat de Radiofísica. Servei d'Oncologia Radioteràpica. Consorci Sanitari de Terrassa. Terrassa, Barcelona

Ingrid Romera Martínez

Licenciada en Ciencias Físicas. Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Servei de Física Mèdica i Protecció Radiològica. Institut Català d'Oncologia. Girona

Alberto Sánchez-Reyes Fernández

Doctor en Ciencias Físicas. Radiofísico Hospitalario. Coordinador de Radiofísica del Grupo IMO (Instituto Madrileño de Oncología). Madrid

Índice

Capítulo 1

Definición del equipamiento necesario para realizar la dosimetría física	13
1. Equipo de medida de la radiación	14
2. Pruebas de calibración de los equipos de medida	27
3. Maniqués o fantomas	29

Capítulo 2

Definición del procedimiento para realizar la dosimetría física en radioterapia	39
1. Dosimetría de los haces de radiación en radioterapia externa.....	40
2. Control de calidad de las fuentes de braquiterapia: calibración de fuentes radiactivas	61

Capítulo 3

Aplicación de los principios de la radiobiología a la radioterapia	79
1. Efectos de la radiación en los ámbitos celular, tisular y orgánico	80
2. Respuesta celular a la irradiación	86
3. Respuesta de los tejidos normales y tumorales a la radiación.....	89
4. Fraccionamiento de la dosis y tipos de fraccionamiento	91
5. Efectos del fraccionamiento de la irradiación y supervivencia celular.....	94
6. Modificación de la sensibilidad celular	97

Capítulo 4

Realización de las dosimetrías clínicas para los tratamientos de teleterapia ...	115
1. Descripción del sistema de planificación y cálculo en 3D.....	116
2. Planificación dosimétrica en diferentes tumores y localizaciones	144
3. Comprobación de la dosis mediante dosimetría <i>in vivo</i>	158
4. Obtención de registros gráficos e informes.....	160

Capítulo 5

Realización de las dosimetrías clínicas para los tratamientos de braquiterapia.....	177
1. Descripción del sistema de planificación y cálculo en 3D.....	178
2. Descripción de las diferentes herramientas del planificador.....	181
3. Localización de fuentes radiactivas utilizando fuentes ficticias.....	189
4. Cálculo de la distribución de dosis absorbida en el tejido por el sistema informático de planificación.....	191
Soluciones “Evalúate tú mismo”	214



capítulo

4

REALIZACIÓN DE LAS DOSIMETRÍAS CLÍNICAS PARA LOS TRATAMIENTOS DE TELETERAPIA

*Montserrat Colomer Truyols,
David Navarro Giménez,
Antoni Ramírez Muñoz*

Sumario

1. Descripción del sistema de planificación y cálculo en 3D
2. Planificación dosimétrica en diferentes tumores y localizaciones
3. Comprobación de la dosis mediante dosimetría *in vivo*
4. Obtención de registros gráficos e informes

El objetivo de este capítulo es aprender a realizar la **planificación dosimétrica 3D** conformada de un tratamiento de radioterapia externa.

Para ello es necesario conocer bien las **herramientas del sistema de planificación de tratamientos**, que permiten crear los haces de radiación y calcular la mejor distribución de dosis para cada paciente, así como las herramientas de análisis y evaluación de los planes dosimétricos y la obtención de registros gráficos e informes.

Finalmente se verán algunos **ejemplos de dosimetrías** en las localizaciones más frecuentes y cómo se puede comprobar la dosis administrada mediante la dosimetría *in vivo*.

I. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y CÁLCULO EN 3D

En este capítulo se explica cómo se realiza la planificación dosimétrica de un tratamiento de radioterapia externa bajo la supervisión de un especialista en radiofísica hospitalaria y según la prescripción del oncólogo radioterápico, tal y como estipula el **Real Decreto 1566/1998**, por el que se establecen los **criterios de calidad en radioterapia**, en su artículo 6.3.

En este proceso se calcula la dosis que recibe el paciente y se evalúa la mejor manera de irradiar correctamente el volumen tumoral y mínimamente los órganos sanos que se encuentran en su proximidad. Es decir, se trata de irradiar con una dosis homogénea el volumen blanco o PTV (*planning target volume*), intentando dar la mínima dosis posible al tejido sano y respetando los límites de dosis en los órganos de riesgo. Para ello es necesario conocer bien las **herramientas** del sistema de planificación de tratamientos, que es el sistema informático que permite calcular la mejor distribución de dosis para cada paciente a partir de los datos anatómicos y patológicos del mismo y de los datos de los haces de las unidades de tratamiento, y los **procedimientos** más adecuados.



https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1998-20644

El sistema de planificación y cálculo es el conjunto de *hardware* y *software* que permite calcular tridimensionalmente, mediante algoritmos más o menos complejos, la mejor distribución de dosis para cada paciente a partir de los datos del mismo y de los datos de los haces de radiación disponibles (Figura 1).

► **Planificación inversa:** el usuario define algunos parámetros de los haces y los objetivos clínicos fijados, tanto de dosis al PTV como de limitación de dosis a los órganos de riesgo y tejidos sanos, y el sistema de planificación proporciona la solución más adecuada.

El cálculo de las dosimetrías conformadas 3D es un cálculo denominado directo o planificación directa. Los tratamientos de intensidad modulada o IMRT (*intensity modulated radiation therapy*) se realizan en modo inverso.

Una vez que se dispone de toda la información necesaria, se puede comenzar el proceso de planificación del tratamiento, con la técnica y modalidad más adecuadas para el caso, siguiendo aproximadamente el esquema de la Figura 3.

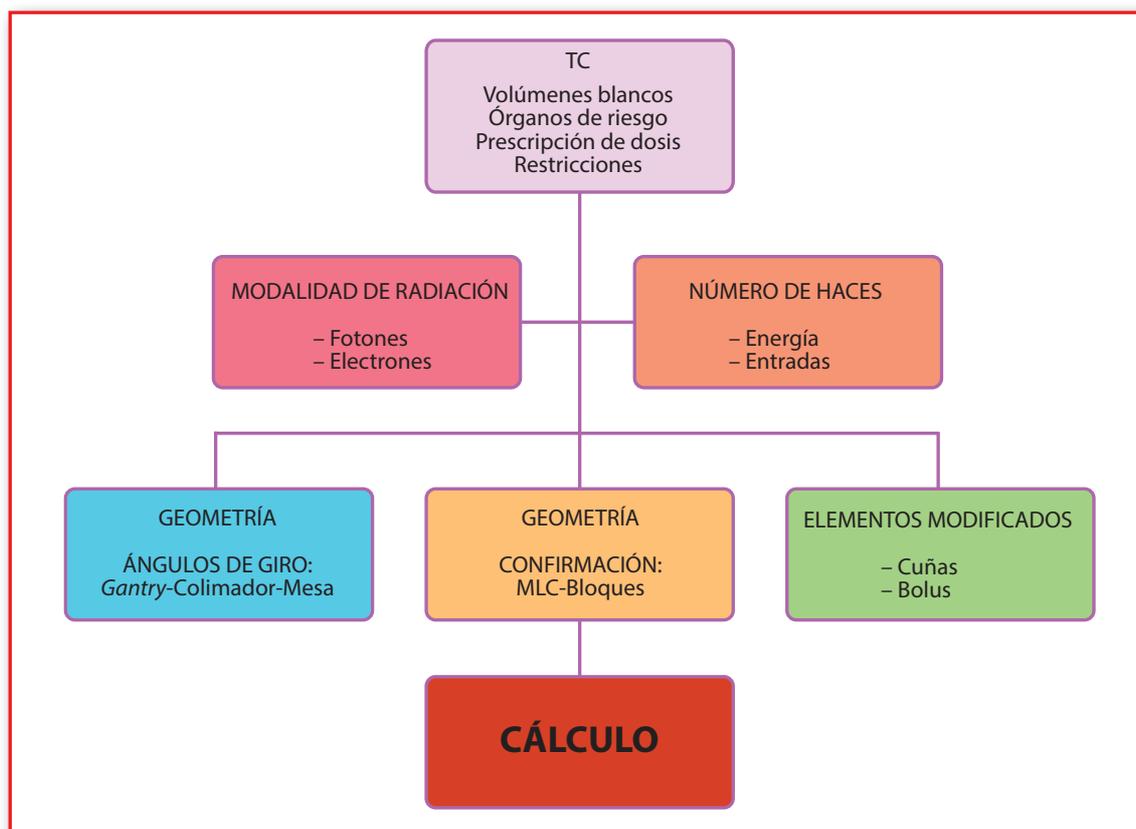


Figura 3. Esquema con los diferentes pasos que se deben seguir en la elaboración de una dosimetría clínica.

1.1. Descripción de las diferentes herramientas del planificador

Los sistemas de planificación de tratamientos disponen de diferentes conjuntos de herramientas que se pueden agrupar básicamente en los cinco grupos que se exponen a continuación:

Teletherapy sources

Patient ID:
 Name:
 Studyset ID: mama D
 Description:
 Rescaled CTs: no air: -728; water: 5
 Plan ID:
 Plan description:
 Treatment orientation: supine, head toward gantry
 Treatment plan approved: no
 Treatment date:
 Beam weighting mode: absolute dose/MU

	Beam number 1	Beam number 2
Description	TI	TE
Machine ID	SYN X06	SYN X06
Collimator	Asym	Asym
Setup/dist (cm)	SAD/100.0	SAD/100.0
SSD/Wt fan SSD (cm)	90.4/90.4	93.1/93.1
Field size at isocenter	ES/DT 10.0/10.9	ES/DT 9.6/10.0
Field size (cm)	GU/TA 4.3/7.4	GU/TA 4.3/7.4
Coll. Eq. Square (cm)	15.00	14.57
Blk. Eq. Square (cm)	7.73	8.01
Gantry/Coll angle (deg)	60.0/260.0	235.0/98.0
Isocenter/Beam entry	Iso	Iso
X, Y, Z (cm)	-11.00/2.00/9.40	-11.00/2.00/9.40
Tx aids:	Motorized heel-out	Motorized heel-out
Wedge ID/orient	0.270/wedged	0.268/wedged
WF/norm	15	25
Variable wedge angle (deg)	MLC	MLC
Port	Blocked	Blocked
Port/MLC normalization		
Calc algorithm	Superposition	Superposition
Weight (cGy) /N ^o fractions	2300.0/25	2500.0/25
Motorized (open/wdg)	1944.2/355.8	1826.9/673.1
X, Y, Z (cm)	-11.00/2.00/9.40	-11.00/2.00/9.40
Defined at	Arb. point	Arb. point
Depth; skin (cm)	9.6	6.9
Effective; skin (cm)	9.1	6.7
TAR/TPR/PDD	TPRxPSCF/PSCF (0) (blk)	TPRxPSCF/PSCF (0) (blk)
At depth	1.143	1.566
At effective	1.446	1.589
PSCF (0)/ PSCF (ec)	0.700/1.038	0.700/1.035
Dose output	1.058 (cGy/MU)	1.054 (cGy/MU)
SCD/SWD (cm)	100.0/100.0	100.0/100.0
Ref. Depth or Dmax (cm)	10.0	10.0
Tray factor (composite)	1.000	1.000
Frac MU/time (open/wdg)	0.596/0.404	0.421/0.579
Min or MU (open/wdg)	75.36/51.05 (MU)	64.54/88.58 (MU)
Integer MU (open/wdg)	75/51	65/89

Figura 10. Ejemplo de hoja de datos de haces de tratamiento.

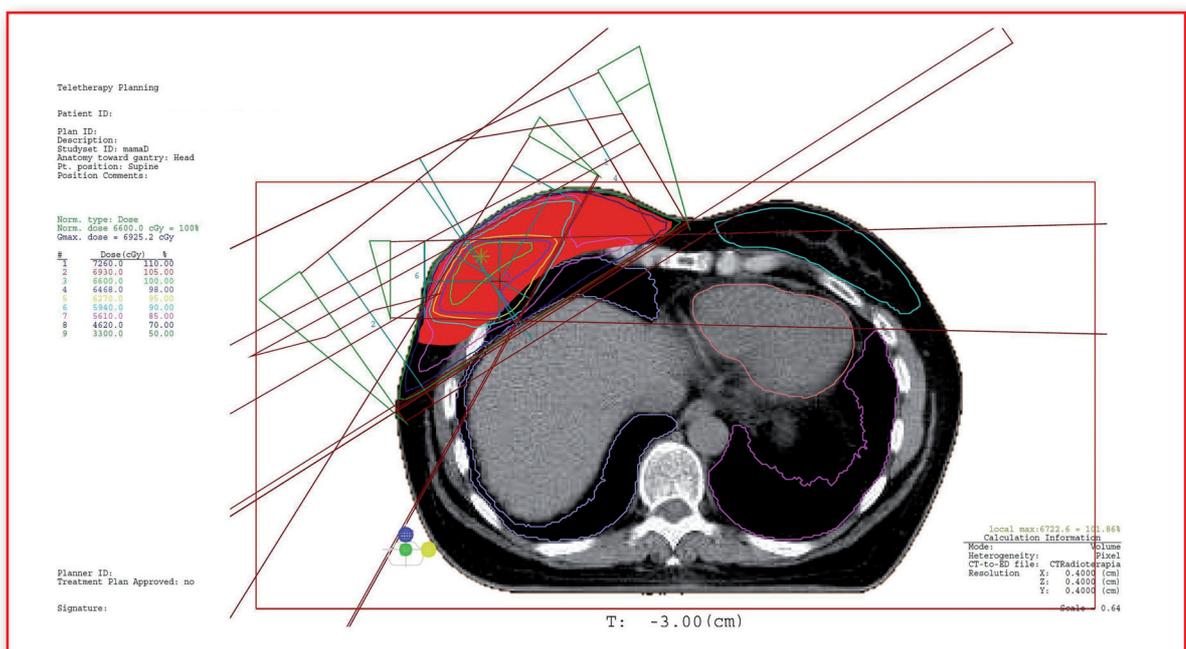


Figura 11. Ejemplo de impresión de un plano con las curvas de isodosis.

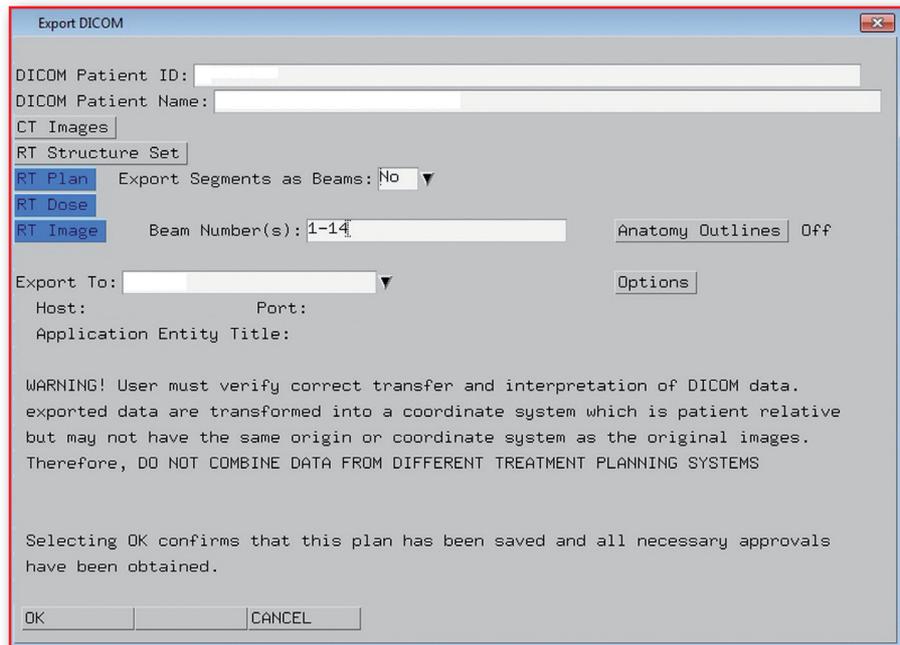


Figura 14. Ventana de exportación DICOM del sistema de planificación a la red de registro y verificación, y a los sistemas de imagen para comprobar el tratamiento.

1.2. Disposición de los haces: geometría y elementos modificadores

Conocidas las herramientas de que dispone un sistema de planificación de tratamientos, a continuación se explica paso a paso el proceso que se debe seguir para realizar una dosimetría.

Una vez se tiene la TC del paciente con todos los contornos y la prescripción del tratamiento, **el primer paso**, antes de insertar ningún haz de radiación, es **definir el origen de coordenadas del paciente** (Figura 15).



RECUERDA QUE

Este origen de coordenadas se encuentra en el corte de la TC donde aparecen las marcas radiopacas que se le ponen al paciente para hacer la TC en el momento de la simulación y en la intersección de las rectas que las unen.

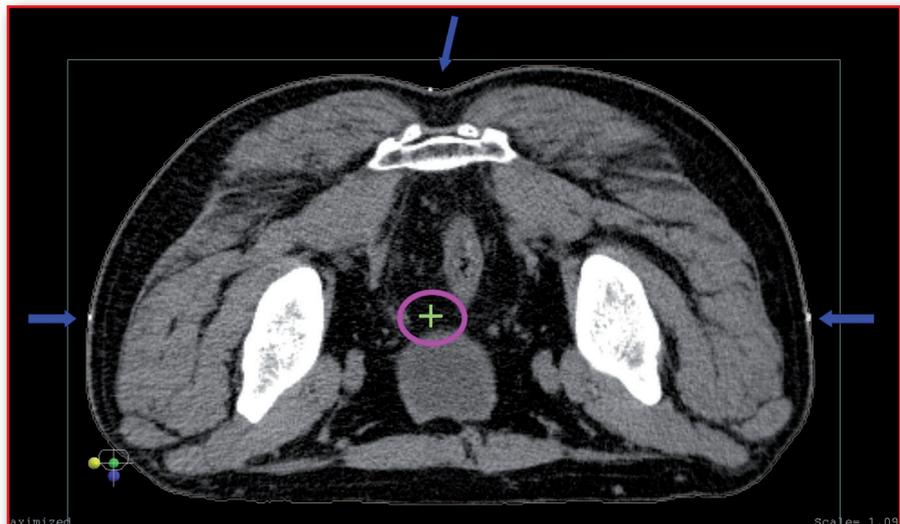
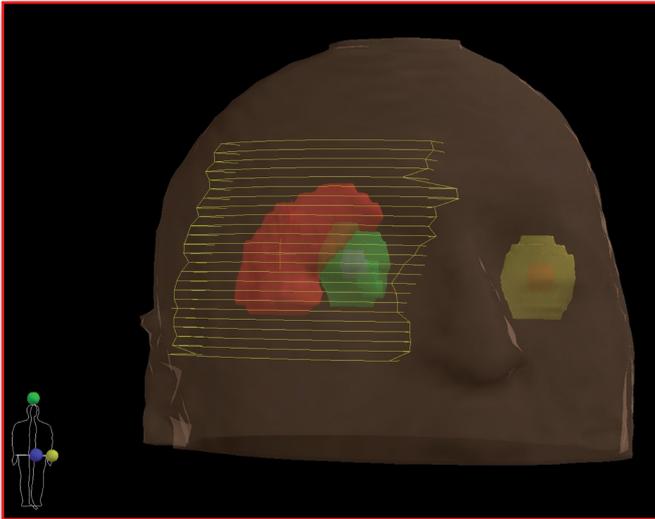


Figura 15. Marcas radiopacas de centrado y origen de coordenadas dentro de la elipse fucsia.



Figuras 25 y 26. Bolus (lámina amarilla de 0,5 o 1 cm de espesor) sobre una lesión de piel para poder irradiar correctamente el PTV (en rojo) que se encuentra bajo la superficie de la piel.

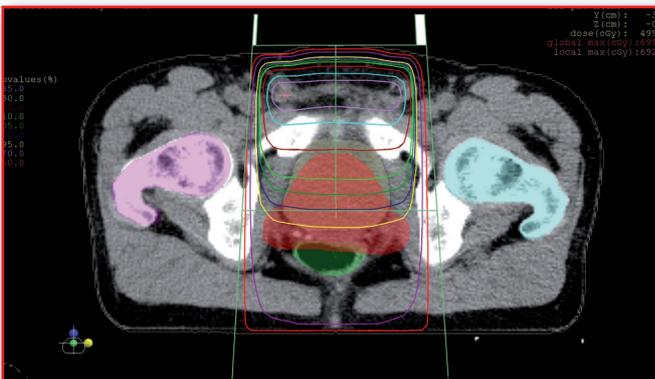


Figura 27. Campo directo de fotones sin bolus. La isodosis del 130 % (color turquesa) se encuentra unos 3 cm por debajo de la piel.

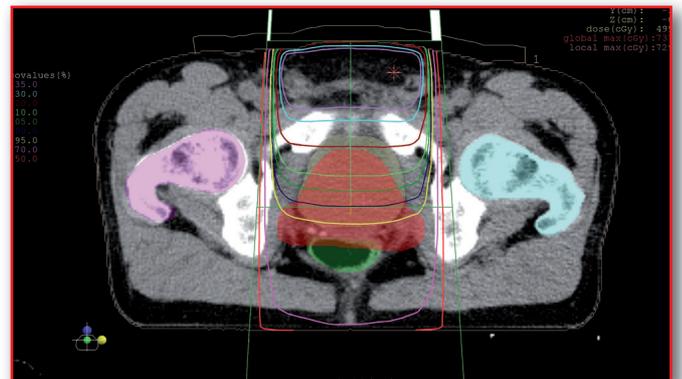


Figura 28. Campo directo de fotones con bolus. La isodosis del 130 % (color turquesa) ha "subido" a la superficie de la piel.

1.2.6. Disposición de los haces o campos de tratamiento

Un solo campo de radiación produce una gran heterogeneidad en la distribución de la dosis.

En las siguientes figuras se puede ver cómo se distribuye la dosis utilizando un único campo, dos campos paralelos y opuestos, cuatro campos en caja o hasta seis campos en un tumor pélvico. Se puede apreciar que la mejor conformación al PTV se consigue con la distribución de seis campos y también mejora sustancialmente la dosis a los órganos de riesgo (Figuras 29-32).



RECUERDA QUE

Para conseguir una mayor homogeneidad en la dosis al PTV es conveniente utilizar mayor número de campos y con diferentes entradas.

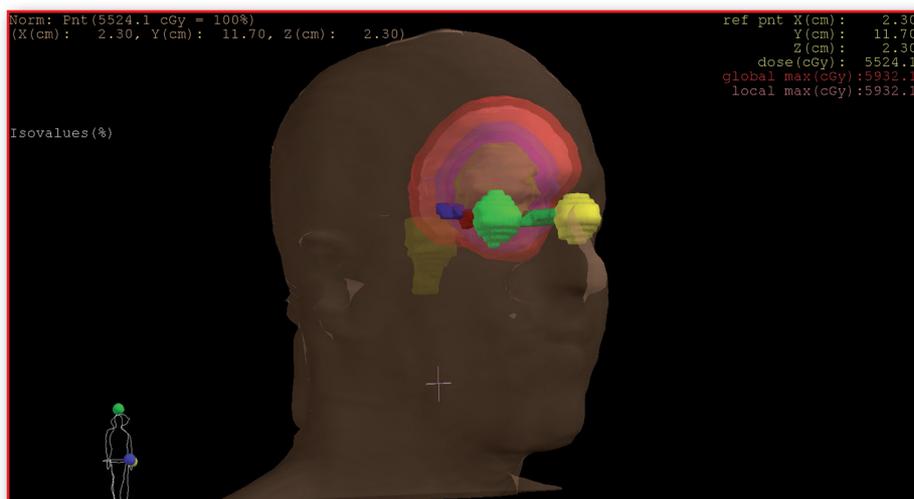


Figura 39. Volumen localizado en un hemisferio craneal.

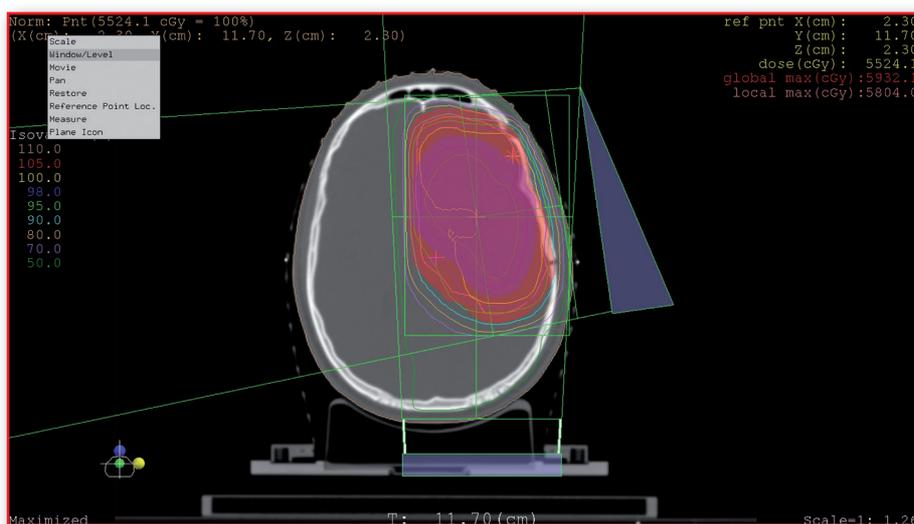


Figura 40. Configuración de haces e isodosis en un plano transversal.



Si el volumen que se va a tratar se encuentra localizado únicamente en un hemisferio deben evitarse, en la medida de lo posible, aquellos haces que entren por el hemisferio contralateral.

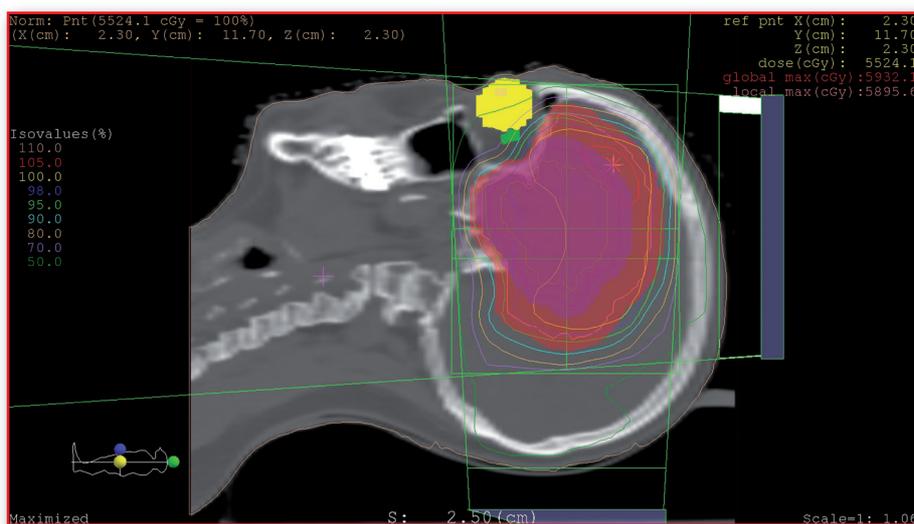


Figura 41. Configuración de haces e isodosis en un plano sagital.

2.2.2. Técnica de seis campos

Aunque la técnica de cinco campos suele proporcionar buenos resultados en la mayoría de situaciones, en determinados casos la técnica de seis campos puede proporcionar mejores resultados. Se utilizan seis campos de fotones, generalmente de baja energía:

- 】 Dos campos oblicuos anteriores cubriendo la totalidad del PTV.
- 】 Dos campos oblicuos anteriores evitando la médula.
- 】 Dos campos oblicuos posteriores opuestos a los oblicuos anteriores evitando la médula (Figuras 45-48).

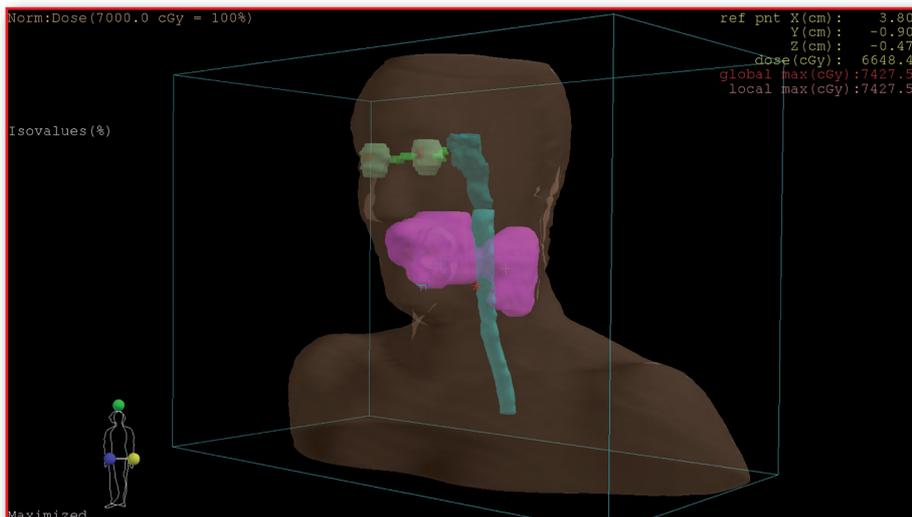


Figura 45. Vista del PTV abrazando la médula.



<https://www.youtube.com/watch?v=rmtAGHbGQ04>

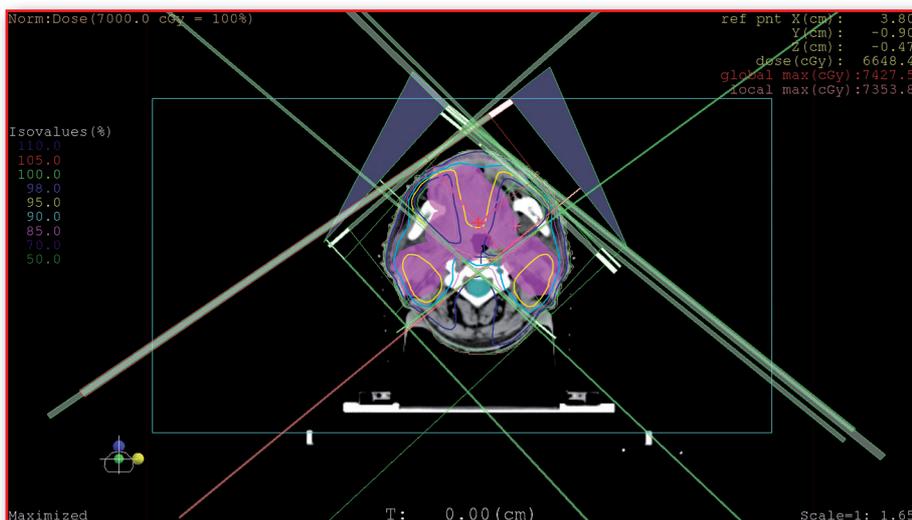


Figura 46. Curvas de isodosis.



<https://www.youtube.com/watch?v=HaD6wowGZ8U>

Se presenta como ejemplo la irradiación de la próstata + márgenes (Figuras 57-63).

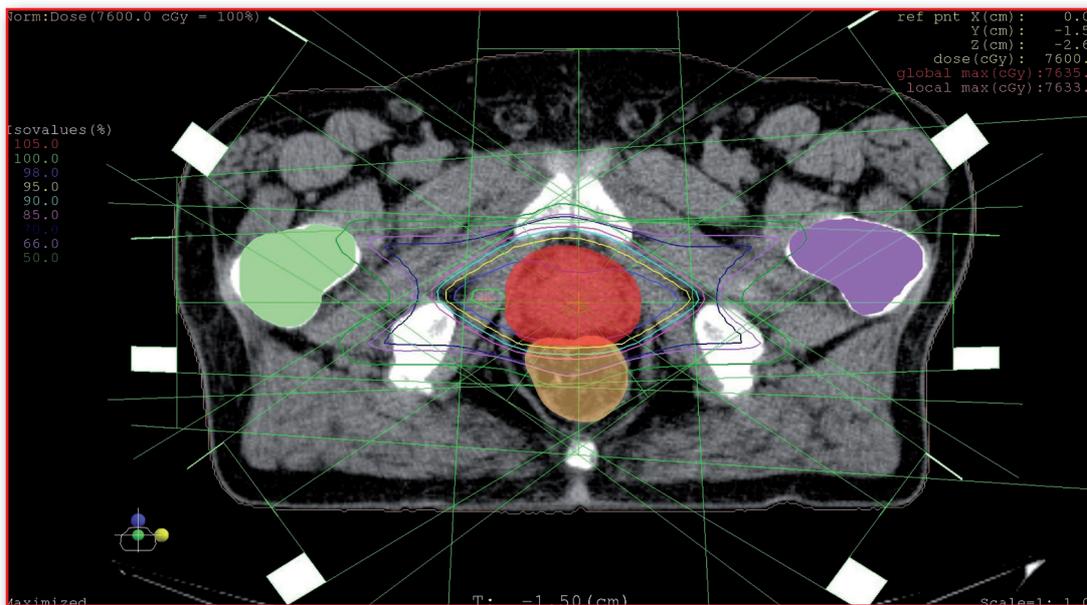


Figura 57. Dosimetría de próstata con seis campos oblicuos.

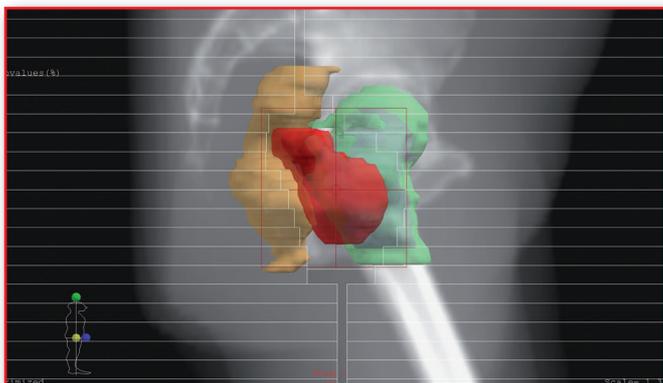


Figura 58. BEV del campo LD en la planificación de seis campos en próstata.

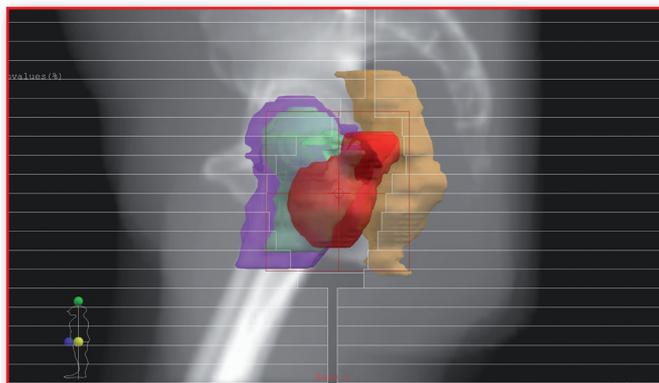


Figura 59. BEV del campo LI en la planificación de seis campos en próstata.

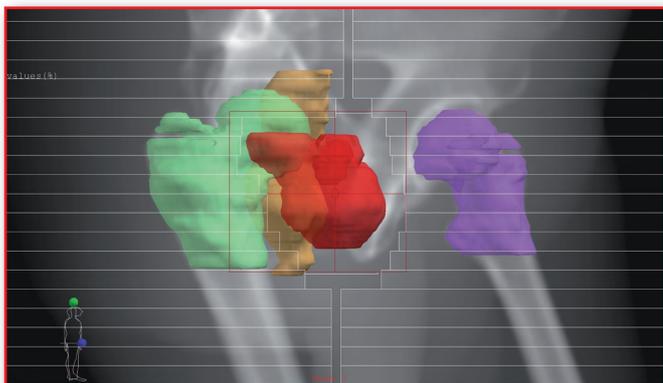


Figura 60. BEV del campo OAD en la planificación de seis campos en próstata.

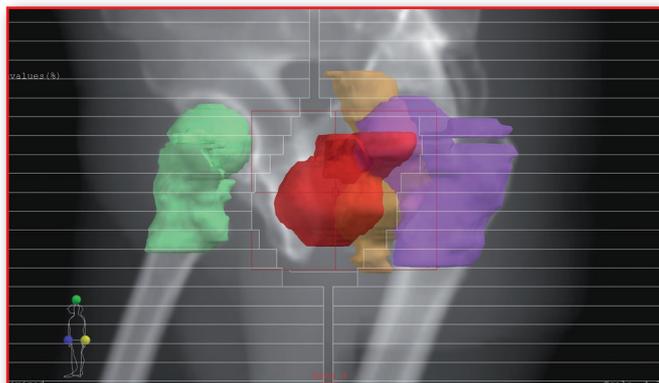


Figura 61. BEV del campo OAI en la planificación de seis campos en próstata.

RESUMEN

- ✓ En este capítulo se han descrito las **herramientas de un sistema de planificación**, se ha explicado **cómo realizar una dosimetría 3D conformada** y qué **características** tiene una **planificación de IMRT**, cómo editar y definir los haces de un tratamiento de radioterapia externa, y la mejor disposición de los mismos para conseguir el objetivo final de toda planificación de tratamientos que es **irradiar homogéneamente el PTV** con la dosis de prescripción y mínimamente los órganos de riesgo, con dosis por debajo de las de tolerancia.
- ✓ También se ha descrito cómo **optimizar una dosimetría** a través de un proceso iterativo y cómo analizar si cumple con todas las restricciones mediante las curvas de isodosis y los histogramas dosis-volumen. Y, finalmente, cómo **transferir todos los datos dosimétricos al sistema de registro y verificación** para poder tratar al paciente en la unidad de tratamiento. Por otro lado, se ha indicado cómo se puede comprobar la dosis impartida al paciente mediante la **dosimetría in vivo**.

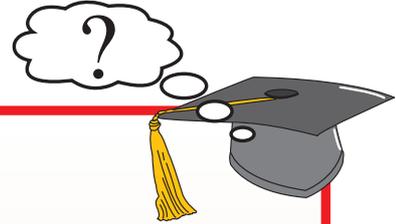
G L O S A R I O

Algoritmo: conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema.

Bolus: material equivalente a la densidad del agua cuya función es conseguir una mayor dosis absorbida de radiación en la piel y reducirla en profundidad.

Cuña: filtros en forma de cuña que disminuyen la intensidad del haz de manera continua en una dirección determinada. Permiten compensar la falta de tejido.

Curva de isodosis: curva que une en un mismo plano puntos de igual dosis.



EJERCICIOS

- » E1. En grupos de 4 o 5 personas, escoged una patología o localización de entre las siguientes: mama, pulmón, recto, próstata, SNC y ORL. Enumerad y explicad todos los pasos necesarios para llegar a obtener una dosimetría clínica que cumpla todos los requisitos y se pueda exportar para tratar al paciente en el acelerador, desde que el oncólogo radioterapeuta entrega a la unidad de radiofísica la TC contorneada con la prescripción de dosis al PTV y las restricciones a los órganos de riesgo.
- » E2. Se tiene un tratamiento de pelvis con cuatro campos en caja (AP, PA, LD y LI). Considerando los siguientes planos de isodosis, ¿cómo se podría mejorar la homogeneidad del volumen blanco (en rojo) mediante el uso de cuñas? ¿Cómo se podría mejorar la homogeneidad modificando los pesos?



- » E3. Dadas las siguientes restricciones, comprueba si cumple o no el histograma con ellas:
- Recto: V40 < 60 %.
 - Vejiga: V40 < 60 %.
 - Cabezas femorales: dosis media < 46 Gy.



EVALÚATE TÚ MISMO

1. La aplicación de la TC y la informática en la dosimetría ha permitido:

- a) Trabajar con los contornos auténticos del paciente.
- b) Trabajar con más rapidez y seguridad.
- c) Agilizar y personalizar el tratamiento.
- d) Todas las respuestas son correctas.

2. ¿Qué son las curvas de isodosis?:

- a) Líneas que unen todos los puntos de un mismo plano que reciben la misma dosis.
- b) Líneas que unen puntos donde hay que dar la misma dosis.
- c) Líneas que dibujan los volúmenes que hay que tratar.
- d) Líneas que unen puntos del paciente que tienen la misma densidad.

3. ¿Cuál es el interés de combinar diferentes campos convergentes para tratar un volumen blanco situado a cierta profundidad, como por ejemplo una pelvis con técnica de caja?:

- a) Ninguno, complicar el tratamiento inútilmente aumentando el riesgo de errores.
- b) Irradiar aún más los órganos críticos que no pueden sobrepasar cierta dosis.
- c) Reducir las dosis en la piel y a los órganos sanos atravesados, así como uniformizar la dosis sobre el volumen blanco.
- d) Aumentar las dosis en la piel y disminuir la dosis al volumen blanco.

4. De todos estos factores, ¿cuál modifica la distribución de isodosis de un haz de radiación?:

- a) Oblicuidad de la superficie del paciente en la entrada del haz.
- b) Inhomogeneidades de tejidos que atraviesa el haz, como pulmón o hueso.
- c) Cuñas.
- d) Todos los factores anteriores.

5. La dosimetría *in vivo*...:

- a) Se utiliza únicamente en el tratamiento de piel.
- b) Es una técnica dosimétrica que resulta fiable y precisa para poder calcular qué dosis reciben diferentes volúmenes tratados.
- c) Ya no se utiliza.
- d) Se calcula en el departamento de física.



SOLUCIONES
EVALÚATE TÚ MISMO



http://www.aranformacion.es/_soluciones/index.asp?ID=22

