

ÍNDICE

Agradecimientos

RESUMEN

ÍNDICE

Capítulo 1. Introducción.

1.1. Aspectos relativos a los tratamientos radioterapéuticos.

1.2. Objetivos de la tesis.

1.3. Estructura de la tesis.

1.4. Marco de la tesis.

Capítulo 2. Estado del arte.

2.1. Evolución histórica de la Radioterapia.

2.2. Mecanismos de lesión por radiación ionizante.

2.2.1. Efectos de la irradiación celular a nivel molecular.

2.2.2. Modificación de los efectos por radiación.

2.3. Acelerador lineal de electrones.

2.3.1. Descripción del acelerador lineal clínico.

2.3.1.1. Guía de ondas.

2.3.1.2. Colimación de campos rectangulares.

2.3.1.3. Colimación multiláminas.

2.3.1.4. Colimador de electrones.

2.3.2. Aplicaciones médicas de los aceleradores lineales.

2.4. Sistema de planificación en radioterapia.

2.5. Normativa.

Capítulo 3. El método de Monte Carlo en el transporte de la radiación.

3.1. Introducción.

3.2. La historia del método Monte Carlo.

3.3. La filosofía del método de Monte Carlo.

3.4. Generación de números pseudo-aleatorios.

3.5. Variables discretas aleatorias.

3.6. Teorema central del límite.

3.7. Técnicas de muestreo.

3.7.1. Función densidad de probabilidad.

3.7.2. Función de distribución.

3.7.3. Método directo.

3.7.4. Método de rechazo.

3.8. Análisis estadístico. Estimación de la precisión.

Capítulo 4. Física de la radioterapia.

4.1. Interacción de las partículas con la materia.

4.1.1. Procesos de interacción de los fotones.

4.1.1.1. Efecto fotoeléctrico (absorción).

4.1.1.2. Efecto *Compton* (dispersión incoherente).

4.1.1.3. Dispersión coherente (*Rayleigh*).

4.1.1.4. Producción de pares.

- 4.1.1.5. Fotodesintegración.
- 4.1.1.6. Importancia relativa de los distintos procesos.
- 4.1.2. Procesos de interacción de los electrones.
 - 4.1.2.1. Dispersiones inelásticas con los electrones atómicos (colisiones débiles).
 - 4.1.2.2. Dispersiones elásticas con los electrones atómicos (colisiones fuertes).
 - 4.1.2.3. Dispersiones inelásticas con los núcleos atómicos (*Bremsstrahlung*).
 - 4.1.2.4. Dispersiones elásticas con los núcleos.
 - 4.1.2.5. Aniquilación electrón-positron.

4.2. Cantidades físicas para describir haces de fotones.

- 4.2.1. Unidades básicas.

4.3. Capacidad de penetración de los haces de fotones en un maniquí dosimétrico.

4.4. Distribución de dosis en agua.

- 4.4.1. Porcentaje de dosis en profundidad sobre el eje central.
 - 4.4.1.1. Región de *Build up*.
- 4.4.2. Dosis fuera del Eje (*off-axis*) y perfiles laterales de campo.

4.5. Correcciones por presencia de heterogeneidades.

4.6. Modelos para algoritmos de cálculo dosimétrico.

4.7. Dosis relativa medida con cámara de ionización.

4.8. Teoría de la cavidad de *Bragg-Gray*.

4.9. Rutas dosimétricas.

Capítulo 5. El código Monte Carlo MCNP (versión 5). Descripción general.

5.1. Introducción.

5.2. El código MCNP5.

5.3. Librería de transporte de fotones: MCPLIB04.

5.4. Librería de transporte de electrones: EL03.

5.5. *Tallies* o registros dosimétricos en MCNP5.

5.6. Los métodos de reducción de varianza en MCNP5.

5.7. Paralelización del código.

Capítulo 6. Materiales y métodos.

6.1. Descripción de la metodología.

6.2. Modelización del funcionamiento de la unidad de radioterapia *Elekta Precise*.

- 6.2.1. Simulación del cabezal de irradiación.
 - 6.2.1.1. Espectro de emisión.
 - 6.2.1.2. Sistema de colimación.
- 6.2.2. Simulación de la cuba de agua.
- 6.2.3. Registros.
- 6.2.4. Física de la simulación.
- 6.2.5. Otros parámetros de la simulación.
- 6.2.6. Datos experimentales.
 - 6.2.6.1. Curvas relativas de dosis en el interior de la cuba.
 - 6.2.6.2. Valores absolutos de dosis en el interior de la heterogeneidad.
- 6.2.7. Curvas extraídas del Planificador.

6.3. Cálculo del espectro por análisis de la dispersión.

- 6.3.1. Metodología de análisis de la dispersión.
 - 6.3.1.1. El modelo de radiación de frenado de *Schiff*.
 - 6.3.1.2. Método de reconstrucción del espectro.
 - 6.3.1.3. Método de optimización.
 - 6.3.1.4. Procedimiento experimental.

- 6.3.1.5. Simulación Monte Carlo de haces de fotones monoenergéticos.
- 6.3.1.6. Validación del espectro reconstruido.

6.4. Reconstrucción del espectro a partir de curvas de dosis en profundidad.

- 6.4.1. Reconstrucción del espectro como un problema lineal.
- 6.4.2. Problema lineal inverso.
 - 6.4.2.1. Soluciones del problema lineal inverso.
 - 6.4.2.2. Sistema mal condicionado e inestabilidad numérica.
- 6.4.3. Discretización del problema.
- 6.4.4. El método de Descomposición en Valores Singulares (SVD).
 - 6.4.4.1. Condición de Picard Discreta.
 - 6.4.4.2. La Curva L .
- 6.4.5. Procedimiento de regularización.
 - 6.4.5.1. Método de Descomposición en Valores Singulares Truncada (TSVD).
 - 6.4.5.1.1. Elección del parámetro para la regularización de TSVD.
 - 6.4.5.2. Descomposición en valores singulares truncada modificada (MTSVD).
 - 6.4.5.2.1. Elección del parámetro para la regularización de MTSVD.
 - 6.4.5.3. Procedimiento de Regularización de *Tikhonov*.
 - 6.4.5.3.1. Elección del parámetro para la regularización de *Tikhonov*.

6.5. Metodología del gradiente de la curva de dosis en profundidad (GDP).

Capítulo 7. Resultados.

7.1. Validación del modelo de simulación de la unidad de radioterapia.

- 7.1.1. Presentación de los resultados.
- 7.1.2. Validación de los resultados del modelo del equipo de radioterapia.
 - 7.1.2.1. Cuba de agua homogénea.
 - 7.1.2.2. Cuba de agua heterogénea.
 - 7.1.2.3. Interior de la heterogeneidad.

7.2. Validación del espectro reconstruido por *Schiff*.

- 7.2.1. Diferencia espectral.
- 7.2.2. Dosis en profundidad.

7.3. Validación del espectro reconstruido por deconvolución.

- 7.3.1. Cálculo del espectro a partir de las curvas de dosis en profundidad.
 - 7.3.1.1. Características físicas del problema.
 - 7.3.1.2. Condición de Picard Discreta.
 - 7.3.1.3. El método TSVD.
 - 7.3.1.4. El método MTSVD.
 - 7.3.1.5. Procedimiento de Regularización de *Tikhonov*.
 - 7.3.1.6. Estudio inverso.
 - 7.3.1.7. Estudio considerando la contribución en la matriz respuesta de sólo los fotones.
- 7.3.2. Método del gradiente: Derivada de la matriz respuesta.
 - 7.3.2.1. Comportamiento físico del sistema.
 - 7.3.2.2. El método TSVD.
 - 7.3.2.3. El método de *Tikhonov*.
- 7.3.3. Validación del espectro.
- 7.3.4. Filtrado del espectro obtenido.

7.4. Comparación de las diferentes técnicas de reconstrucción de espectros.

7.5. Cálculo del espectro de 15 MeV.

Capítulo 8. Conclusiones.

8.1. Discusión de los resultados.

- 8.1.1. Simulación de la unidad de radioterapia.
- 8.1.2. Reconstrucción del espectro por el método de *Schiff*.
- 8.1.3. Reconstrucción del espectro por análisis de deconvolución.

8.2. Conclusiones generales.

8.3. Líneas futuras.

8.4. Publicaciones.

8.4.1. Publicaciones internacionales.

8.4.2. Publicaciones nacionales.

8.4.3. Comunicaciones internacionales.

8.4.4. Comunicaciones nacionales.

BIBLIOGRAFÍA