

Algoritmos de planificación del tratamiento: cálculos de dosis de fotones

Khan's Treatment Planning in Radiation Oncology [1]

Christopher López Ruiz

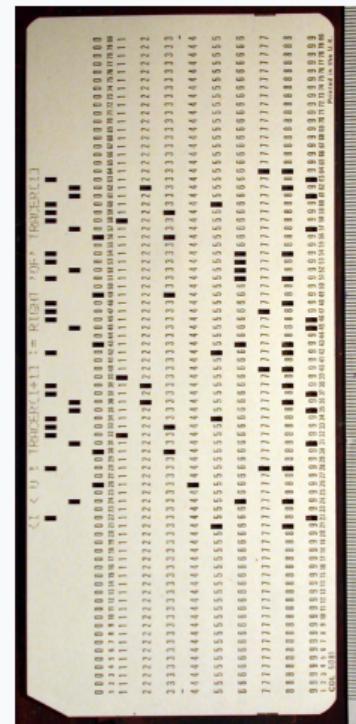
Instituto Nacional de Cancerología

5 de julio de 2024

INTRODUCCIÓN

Historia

- Los sistemas computarizados de planificación del tratamiento se han utilizado en la **planificación de la radioterapia desde la década de 1950**.
- El primer algoritmo informático utilizado se atribuyó a Tsien, quien **utilizó tarjetas perforadas para almacenar distribuciones de isodosis y permitir la adición de múltiples haces**.
- Los avances en la **velocidad de las computadoras y el desarrollo de algoritmos** han mejorado enormemente nuestra capacidad para predecir las distribuciones de dosis de fotones en los pacientes.



En 1987 el **informe 42 de la ICRU** hace el primer intento de **clasificar los algoritmos de planificación informática**.



Empíricos

- **Primeros algoritmos** se desarrollaron utilizando como **entrada datos de haces clínicos medidos en un phantom de agua plana**. Luego se hicieron **correcciones** para incorporar varios efectos.
- Con el tiempo, se incorporaron **factores de corrección de la heterogeneidad del paciente**, pero se aplicaron después, es decir, **después de realizar cálculos basados en agua asumiendo una geometría homogénea del paciente**.

- La mayor parte de este desarrollo se produjo **antes de la llegada de la CT**.
- Con el tiempo, la **utilización comercial de algoritmos empíricos se desvaneció**.

Basados en modelos



- En 1990, la **radioterapia conformada tridimensional (3D CRT)** comenzó a utilizar datos de imágenes de CT específicos del paciente en el proceso de planificación.
- Al principio **se limitaba a una simulación virtual**. Ya que aún no estaban disponibles **algoritmos informáticos** que pudieran incorporar la **información de densidad volumétrica** y calcular **distribuciones de dosis** tridimensionales en un período de tiempo razonable.

- Para utilizar plenamente esta nueva información, fue necesario **desarrollar nuevos algoritmos que pudieran incorporar con mayor precisión variaciones en la anatomía de cada paciente.**
- Como resultado, los **sistemas comerciales de planificación de tratamientos han pasado a métodos de cálculo de fotones basados en modelos.**

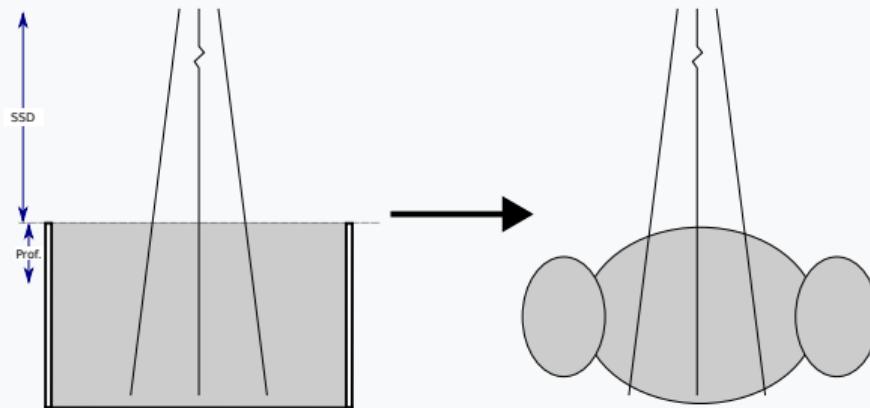
En este capítulo, se describen **tres modelos de cálculo de fotones que se utilizan actualmente en clínicas de radioterapia.**

Los modelos de cálculo de fotones son **un área de desarrollo continuo y es probable que la implementación de uno o más de estos modelos por parte de cada proveedor comercial difiera en muchos aspectos.** Sin embargo, la intención es proporcionar **una comprensión básica de los principios detrás de estos algoritmos.**

LA REPRESENTACIÓN DEL PACIENTE PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA DOSIS

Inicialmente, los pacientes eran considerados como un **phantom de agua plana** con un **SSD** y una **profundidad específicos** para su uso en **cálculos de dosis simples o de unidades de monitorización**.

El desarrollo de **herramientas de contorno externo** ayudó al planificador del tratamiento a determinar **distribuciones de dosis específicas para el paciente**. Dichos procedimientos dieron como resultado que el **paciente fuera representado como una composición homogénea** (es decir, agua), pero permitieron la aplicación de correcciones superficiales al cálculo.



Las **heterogeneidades** de los pacientes **podrían representarse** de formas sencillas, como utilizando **contornos internos con densidades asignadas**.

La densidad electrónica a asignar a la región podría **inferirse de los atlas de CT** o, si están disponibles, del **número medio de CT específico del paciente dentro de la estructura contorneada**.

El **problema** con este enfoque fue que **tejidos** como el pulmón y el hueso **no son homogéneos en sí mismos y sus variaciones de densidad no se tendrían en cuenta al utilizar este enfoque**.

Método Monte Carlo [2]

Es una **técnica matemática** que se utiliza para estimar los **posibles resultados** de un evento incierto.

Inventado por **John von Neumann y Stanislaw Ulam** para mejorar la toma de decisiones en condiciones inciertas.

Lleva el nombre de una conocida **ciudad de casinos**.

Desde su introducción han evaluado el **impacto del riesgo** en muchos escenarios de la **vida real**.



II. La cavidad es grande comparada con el alcance de los electrones involucrados

- Definido con el cociente del coeficiente de absorción de energía
- Asumir que la cavidad no perturba la fluencia fotones, i.e. $(\Phi_k)_{med} = (\Phi_k)_{det}$

$$f_{med,det}(Q) = \frac{\int_0^{k_{max}} [\Phi_k]_{med} [\mu_{en}(k)/\rho]_{med} dk}{\int_0^{k_{max}} [\Phi_k]_{med} [\mu_{en}(k)/\rho]_{det} dk} = [\mu_{en}/\rho]_{med,det}$$

CÁLCULO MONTE CARLO DE CANTIDADES DOSIMÉTRICAS

Cocientes de poder de frenado para dosimetría de referencia

El problema básicamente se restringe al **cálculo de la fluencia de partícula cargadas relevantes o de fotones, diferencial en energía**, puntuando *espectros de longitud de pista*.

Muchos de los avances de MC en este campo han estado relacionados con desarrollos en **algoritmos de transporte de electrones**, especialmente en presencia de límites de interfaz, donde los segmentos de longitud de pista pueden volverse tan cortos que las **múltiples teorías de dispersión ya no son válidas bajo la llamada técnica de historia condensada**.

Muchos de los sistemas MC actuales incluyen dicha técnica, en lugar del tipo de simulación de **interacción por interacción (dispersión única)** que suele utilizarse para la simulación del transporte de baja energía.

CONCLUSIONES

- [1] Khan, F. M., Gibbons, J. P., & Sperduto, P. W. (2016). *Khan's Treatment Planning in Radiation Oncology* (4.^a ed.). Wolters Kluwer.
- [2] IBM. (2023). ¿Qué es la simulación Monte Carlo? Consultado el 25 de mayo de 2024, desde <https://www.ibm.com/mx-es/topics/monte-carlo-simulation>