

2. ¿Qué es la Tomografía Computarizada?

radiación ionizante, usualmente rayos X

La tomografía computarizada (TC) es una técnica avanzada de diagnóstico que permite obtener imágenes detalladas y tridimensionales del interior del cuerpo o de cualquier objeto mediante el uso de rayos X y reconstrucciones computacionales. A diferencia de las radiografías convencionales, donde se obtiene una imagen bidimensional, la TC genera imágenes en cortes o secciones, lo que permite visualizar con mayor precisión las estructuras internas [10, 8].

Por acá iría muy bien alguna imagen o esquema.

El principio básico detrás de la tomografía computarizada es la atenuación diferencial de los rayos X al pasar por diferentes tejidos o materiales. Estos rayos son emitidos por una fuente y luego detectados tras atravesar el objeto de estudio. La información obtenida por los detectores se procesa mediante algoritmos computacionales para reconstruir imágenes detalladas, lo que hace de la TC una herramienta esencial tanto en la medicina como en diversas áreas de la investigación [4, 13].

Creo que valdría la pena mencionar el año de invención, quizás de la referencia original, o si no al menos de un libro de texto.

Desde su invención, la TC ha revolucionado el campo de la imagenología médica, al ofrecer una herramienta no invasiva para el diagnóstico preciso de múltiples enfermedades y condiciones. Además de su uso clínico, se ha implementado en otros campos como la investigación científica, la ingeniería y la arqueología. A lo largo de los años, las mejoras en la tecnología de detección y procesamiento de imágenes han permitido obtener imágenes más rápidas, precisas y de mayor resolución, lo que ha consolidado su relevancia en el ámbito médico [11].

2.1. Historia e Importancia de la Tomografía Computarizada

La tomografía computarizada (TC) es una técnica de imagen médica que utiliza rayos X para generar imágenes transversales del cuerpo humano. Se desarrolló en respuesta a la necesidad de imágenes más detalladas y precisas que las que pro-

porcionaban los rayos X convencionales. La TC ha revolucionado múltiples campos, principalmente la medicina, pero también se ha extendido a otras áreas como la investigación en ciencias físicas, arqueología, y la industria [11, 4].

Repetir acá los campos donde se usa me parece redundante. Acabás de mencionarlo en el parrafo anterior.

2.1.1. Primeros pasos y evolución de la TC

La TC moderna fue desarrollada por Sir Godfrey Hounsfield en 1972, ingeniero en la compañía EMI (Electric and Musical Industries Ltd), en colaboración con el físico Allan Cormack. El desarrollo fue tan innovador que Hounsfield y Cormack recibieron el Premio Nobel de Medicina en 1979. El primer escáner de TC construido por Hounsfield producía imágenes en dos dimensiones de cortes finos del cerebro, que posteriormente eran procesadas por una computadora para crear imágenes detalladas. Este primer dispositivo tardaba horas en recolectar los datos de cada escaneo y varios días en procesar las imágenes.

Aquí iría la cita que menciono arriba.

Si hay imagenes de la primera CT, también estaría bien mostrarlas.

Con el tiempo, los avances en tecnología informática y en la producción de rayos X permitieron la evolución de los escáneres de TC. A finales de la década de 1970 y durante la década de 1980, la TC evolucionó hacia sistemas de escaneo de todo el cuerpo, mucho más rápidos y precisos, con una mayor capacidad de recolección de datos y procesamiento de imágenes. Los avances continuaron con el desarrollo de la TC helicoidal o espiral en la década de 1990, la cual permitía una adquisición de imágenes más rápida y eficiente mediante la rotación continua del tubo de rayos X y el desplazamiento simultáneo de la mesa del paciente. Posteriormente, la introducción de la TC multicorte permitió la adquisición simultánea de varias secciones del cuerpo, lo que redujo el tiempo de examen y mejoró la resolución espacial [4].

Cuando mencionás estos avances, sería más fácil de seguir para alguien que no sepa nada de CT si agregamos una imagen. (Regresando a un comentario anterior).

2.1.2. Aplicaciones Médicas

La TC se ha convertido en un herramienta fundamental en el diagnostico y tratamiento de diversas enfermedades. En medicina, sus aplicaciones más comunes incluyen [11]:

- **Diagnóstico de enfermedades neurológicas:** la TC se utiliza para detectar hemorragias, tumores, y lesiones cerebrales. Ha sido particularmente útil en la identificación de accidentes cerebrovasculares (ACV), ya que puede distinguir entre hemorragias y obstrucciones que causan isquemia.

- **Evaluación de lesiones traumáticas:** en pacientes con traumatismos, especialmente en la cabeza y el abdomen, la TC permite detectar fracturas, hemorragias internas y lesiones de órganos vitales.
- **Detección de cánceres:** la TC se usa para detectar y monitorear tumores en diversas partes del cuerpo, como los pulmones, el hígado, los riñones, y el páncreas. Además, es esencial para planificar el tratamiento de radioterapia.
- **Exámenes cardiovasculares:** la angiografía por TC ha revolucionado el estudio de las enfermedades del corazón y los vasos sanguíneos, permitiendo visualizar arterias coronarias sin necesidad de procedimientos invasivos.
- **Cirugía y planificación:** los cirujanos utilizan la TC para obtener imágenes precisas que ayudan a planificar procedimientos invasivos, proporcionando una imagen detallada de la anatomía del paciente antes de la intervención.

Quizás algunas imágenes de algunas de estas aplicaciones en multi panel.

2.1.3. Usos en Investigación

Más allá de la medicina, la tomografía computarizada ha encontrado aplicaciones en campos de investigación y en la industria. Algunas de las aplicaciones más importantes son [4]:

- **Arqueología y antropología:** la TC se ha utilizado para examinar momias, fósiles y otros artefactos sin dañarlos. Las imágenes obtenidas permiten a los científicos estudiar la estructura interna de los objetos, comprender mejor su historia, y en algunos casos, realizar reconstrucciones virtuales en 3D.
- **Investigación en materiales:** en la ciencia de materiales, la TC es empleada para estudiar la estructura interna de sólidos y fluidos, proporcionando información sobre la porosidad, densidad y otras propiedades físicas importantes.
- **Ingeniería:** la TC se utiliza en ingeniería para analizar mecánicos y estructuras sin necesidad de desmantelar los objetos. Permite detectar defectos en materiales y evaluar la resistencia estructural de piezas fabricadas.
- **Biología y paleontología:** en paleontología, se usa la TC para investigar fósiles, revelando detalles internos sin destruir el espécimen. También ha permitido estudios detallados de cráneos y esqueletos de animales extintos, facilitando investigaciones evolutivas.

Aquí también figura multipanel.

2.2. Principios Básicos

La tomografía computarizada se basa en la interacción de los rayos X con la materia para generar imágenes detalladas del interior de un objeto o cuerpo. A través de la detección de la cantidad de rayos X que atraviesan el material y la reconstrucción matemática de estas señales, se obtienen imágenes en cortes o secciones [4, 11]. Para entender el funcionamiento de la TC, es fundamental para conocer los principios que rigen la interacción de los rayos X con la materia, la atenuación y absorción, y el concepto de coeficiente de atenuación lineal.

2.2.1. Interacción de Rayos X con la materia

Cuando un haz de rayos X incide sobre un material, interactúa de diversas maneras dependiendo de la energía que posea y la composición del material. Los rayos X, que son una forma de radiación electromagnética con alta energía y longitud de onda corta, pueden sufrir absorción, dispersión o pasar sin interacción alguna.

Las interacciones más importantes para los rayos X en el contexto de tomografía computarizada son:

- **Dispersión de Compton:** ocurre cuando una onda electromagnética de alta energía colisiona con un electrón débilmente ligado y es dispersado, perdiendo parte de su energía. Este proceso es dominante en tejidos de baja densidad y en el rango de energía de rayos X usado en la TC médica (20 – 150 keV).
- **Efecto Fotoeléctrico:** un fotón de rayos X es absorbido completamente por un átomo, lo que provoca la expulsión de un electrón. Este efecto es más pronunciado en materiales de alto número atómico y energías de rayos X más bajas.
- **Dispersión de Rayleigh:** es una interacción elástica donde el fotón no pierde energía, pero cambia de dirección. Esta dispersión ocurre principalmente en materiales de baja densidad pero su contribución es menor en comparación con los otros efectos. **usualmente estos se ordenan por la energía en la que contribuyen más. Mueve Dispersión de Compton luego de Rayleigh, y agregá pares como discutimos.**

Cada uno de estos mecanismos influye en la cantidad de radiación que pasa a través del cuerpo y llega al detector en la TC, lo que afecta la calidad de la imagen y la dosis de radiación recibida por el paciente [4].

2.2.1.1. Atenuación y Absorción de Rayos X

La atenuación de los rayos X es el proceso por el cual la intensidad de un haz de rayos X se reduce al atravesar un material. Este fenómeno es causado por la absorción y dispersión de los fotones en los tejidos o materiales por los que pasan. En el caso de la TC, la atenuación de los rayos X a través del cuerpo es lo que permite generar imágenes detalladas de las estructuras internas.

El modelo de atenuación exponencial describe cómo los rayos X pierden intensidad al atravesar un material [11, 4]:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}, \quad (2.1)$$

donde $I(x)$ es la intensidad de los rayos X después de atravesar un espesor x de un material, I_0 es la intensidad inicial del haz de rayos X y μ es el coeficiente de atenuación lineal del material.

Aquí expandís contado que el coeficiente de atenuación sale de sumar todas las secciones eficaces. Una grafiquilla comparando dos elementos o materiales estaría bien.

2.2.1.2. Coeficiente de Atenuación Lineal

El coeficiente de atenuación lineal (μ) es una medida de cuánta energía de los rayos X es absorbida o dispersada por unidad de longitud de un material. Este parámetro es clave en la TC, ya que determina cómo se atenúan los rayos X al pasar por diferentes tejidos del cuerpo humano, permitiendo la creación de una imagen basada en la diferencia de atenuación entre los distintos tipos de tejidos [11].

El coeficiente de atenuación lineal depende de varios factores:

- **Energía de los Rayos X:** a bajas energías, el efecto fotoeléctrico domina, lo que resulta en una mayor atenuación en materiales de alto número atómico. A energías más altas, la dispersión de Compton es más prevalente.
- **Composición del material:** materiales con mayor número atómico (como el calcio en los huesos) tienen un coeficiente de atenuación más altos que los tejidos blandos, lo que se traduce en un mayor contraste en la imagen.
- **Densidad del material:** materiales más densos también tienen un coeficiente de atenuación mayor. Esto es importante en la detección de diferencias de tejidos y estructuras internas en la TC.

El valor de μ es fundamental para la reconstrucción de imágenes en TC, ya que las imágenes se basan en el cálculo de cómo se distribuyen los coeficientes de atenuación a lo largo de una sección transversal del cuerpo. Durante el escaneo, los detectores de rayos X recogen la información de atenuación de diferentes ángulos, y luego, mediante algoritmos de reconstrucción se calculan las imágenes destalladas.

2.3. Componentes y Tecnología

En la tomografía computarizada, la generación de imágenes tridimensionales se logra gracias a una combinación de componentes tecnológicamente avanzados, incluyendo una fuente de rayos X, detectores y un sistema de adquisición de datos. La fuente de rayos X es uno de los elementos más importantes del sistema, ya que proporciona la radiación que atraviesa el cuerpo del paciente, interactúa con los tejidos, y finalmente permite la creación de las imágenes. En esta sección se describe el detalle la fuente de rayos X y los principios físicos detrás de su funcionamiento, como la generación de rayos X por Bremsstrahlung y el espectro resultante [4].

2.3.1. Fuente de Rayos X

La fuente de rayos X en una máquina de TC es un tubo de rayos X que funciona bajo el principio de emisión de radiación electromagnética de alta energía cuando los electrones acelerados colisionan con un blanco metálico. El tubo de rayos X generalmente consta de:

Una imagen de una fuente de estas estaría bien.

- **Cátodo:** el cual produce electrones mediante calentamiento (emisión termoiónica¹). Los electrones son acelerados a través de un campo eléctrico.
- **Ánodo:** un blanco metálico, típicamente hecho de tungsteno debido a su alto punto de fusión y número atómico, sobre el que los electrones impactan a alta velocidad, lo que genera los rayos X.

Al incidir sobre el ánodo, los electrones pierden energía, y este proceso de pérdida de energía da lugar a dos tipos de radiación: Bremsstrahlung y radiación característica, aunque en la TC, la primera es la más importante.

¹Proceso de emisión de electrones desde la superficie de un metal o un material debido a la energía térmica [14].

2.3.1.1. Generación de Rayos X: Bremsstrahlung

El término Bremsstrahlung (del alemán, Radiación de Frenado") se refiere a la radiación producida cuando los electrones desaceleran o desvían al interactuar con los núcleos del ánodo del tubo de rayos X.

- **Proceso de Bremsstrahlung:** cuando un electrón es acelerado se aproxima al núcleo de un átomo en el ánodo, la fuerza de atracción entre la carga positiva y la carga negativa del electrón desvía su trayectoria, reduciendo su velocidad. Esta desaceleración provoca la emisión de radiación electromagnética en forma de fotones de rayos X. La cantidad de energía radiada en este proceso depende de la energía inicial del electrón y de la cercanía del electrón al núcleo: cuanto más cercano, mayor será la pérdida de energía y mayor la energía del fotón de rayos X emitido [4, 11]. **Fórmula, si querés derivación. Y figura del proceso no estaría demás**

La radiación de Bremsstrahlung produce un espectro continuo de rayos X con una distribución de energías que va desde valores cercanos a cero hasta un máximo determinado por la energía de los electrones incidentes. En la práctica, la energía de los electrones que inciden sobre el ánodo se controla ajustando la diferencia de potencial (kVp²) en el tubo de rayos X. A mayor kVp, mayor será la energía máxima de los fotones de rayos X generados.

Además de la radiación de Bremsstrahlung, se produce también una radiación característica cuando los electrones incidentes desplazan a los electrones del blanco (ánodo) de sus niveles electrónicos más internos. Sin embargo, en la TC, la mayor parte de la radiación útil proviene del proceso de Bremsstrahlung debido a su espectro continuo.

2.3.1.2. Espectro de Rayos X y filtración

El espectro de rayos X generado en un tubo de rayos X no es uniforme, sino que varía en función de la energía de los fotones. El espectro total esta compuesto por [11]:

- **Radiación Bremsstrahlung:** como se mencionó, es un espectro que depende de la energía de los electrones incidentes. **Fórmula y figura del espectro de energía.**

²Los Kilovoltios Pico (kVp) es una medida utilizada en radiología y otras disciplinas para indicar la máxima energía cinética que alcanzan los electrones en un generador de rayos X.

- **Radiación Característica:** Es un espectro de líneas discretas que surge cuando los electrones del blanco se reorganizan tras la ionización de niveles electrónicos internos.

2.3.2. Algoritmo de Reconstrucción

Con esta parte dejame revisar un poco y te cuento.