



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE ODONTOLOGÍA

**CAPÍTULO I : HISTORIA DE LA RADIOLOGÍA DENTAL
Y MAXILOFACIAL DEL LIBRO “ROMPIENDO MITOS
DE LA RADIOLOGÍA DENTAL Y MAXILOFACIAL”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ODONTÓLOGO**

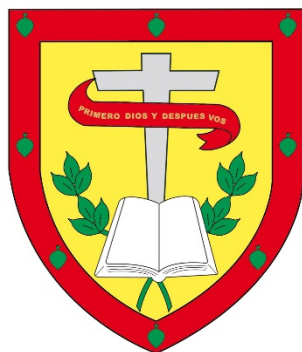
AUTOR: PAULA DOMÉNICA POLO ENCALADA

DIRECTOR: OD. ESP ROCIO MAGDALENA MOLINA B.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE ODONTOLOGÍA

**CAPÍTULO I : HISTORIA DE LA RADIOLOGÍA DENTAL Y
MAXILOFACIAL DEL LIBRO “ROMPIENDO MITOS DE LA
RADIOLOGÍA DENTAL Y MAXILOFACIAL”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ODONTÓLOGO**

AUTOR: PAULA DOMÉNICA POLO ENCALADA

DIRECTOR: OD. ESP ROCIO MAGDALENA MOLINA B.

CUENCA – ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Paula Doménica Polo Encalada portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0105879985**. Declaro ser el autor de la obra: **Capítulo I : Historia de la Radiología Dental y Maxilofacial** del libro **“Rompiendo mitos de la Radiología Dental y Maxilofacial”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 17 de Agosto de 2023

F: 

Paula Doménica Polo Encalada

C.I. 0105879985

Capítulo I

Historia de la Radiología Dental y Maxilofacial

Autores:

Magdalena Molina Barahona

Docente de la Universidad Católica de Cuenca

Ana Cristina Vasquéz Palacios

Docente de la Universidad Católica de Cuenca

Paula Doménica Polo Encalada

Estudiante de la Universidad Católica de Cuenca

TABLA DE CONTENIDO

1.1.Historia de la radiación.....	4
1.2.Física de la radiación	10
1.3. Producción de rayos X.....	19
1.4. Interacciones de la radiación X con la materia.....	25
1.5. Calidad del haz de Rayos X.....	32
1.7. Intensidad del Haz de Rayos X.....	38

Introducción

En la radiología dental y maxilofacial no es posible apreciar la tecnología actual y avanzada que hoy en día se conoce sin antes mencionar el descubrimiento y la historia de la radiación X (1). Antes de dar un conocimiento más avanzado sobre la tecnología en la radiación dental y maxilofacial es necesario conocer la terminología básica de la radiografía (1,2). Para entender la producción de Rayos X el radiólogo dental debe tener un conocimiento de la estructura de atómica y molecular, así como los tipos de ionizaciones y la maquina de Rayos X con los circuitos que dan el funcionamiento de las mismas (1,3). En el campo de la odontología, las radiografías son utilizadas tanto para diagnosticar como para planificar tratamientos adecuados basados en la evaluación de la anatomía y

patologías (2,3,4). Es crucial usar radiografías extraorales o intraorales dependiendo de las necesidades del profesional. A pesar que la dosis de radiación es baja, las radiografías para la cavidad oral son realizadas con gran frecuencia (2,3,4).

1.1.Historia de la radiación

La práctica dental clínica requiere de manera habitual de estudios radiológicos, ya que en la mayoría de los pacientes se necesita algún tipo de exploración de este tipo. Por lo tanto, el uso de estudios radiológicos es una parte esencial de la práctica dental. Fundamentalmente, las radiografías se toman para determinar la presencia o la ausencia de una enfermedad en los tejidos duros subyacentes que afecte a los dientes y/o los huesos. Como resultado se sabe que las radiografías consideran la principal ayuda diagnóstica del clínico (1).

La radiación es el proceso en el cual la energía se emite, propaga y transfiere de un medio a otro en forma de partículas o ondas del campo electromagnético. En los seres humanos, esta energía en forma de ondas se absorbe de manera acumulativa a lo largo de la vida (1).

Es posible medir la cantidad de energía radiante a la que se está expuesto y absorbido, y este nivel puede llegar a afectar o no a las funciones orgánicas de forma perceptible. La frecuencia es un factor importante que determina el nivel de exposición, ya que como regla general, a mayor frecuencia (con longitudes de onda más cortas), mayor será el poder de penetración de la radiación. En resumen, el nivel de exposición depende directamente de la frecuencia de la radiación (1,2).

Por lo tanto, un conocimiento cuidadoso de la radiación X comienza con un estudio de su descubrimiento, los pioneros en la radiación X dental, además antes de que el radiólogo dental pueda empezar a entender la radiación X y sus principios en odontología, es necesaria una introducción a los términos dentales básicos de la radiografía y una discusión del papel fundamental de las radiografías dentales (1,3).

1.1.1. Terminología básica (1)

Radiación: Forma de energía llevada por ondas o una corriente de partículas.

Radiación X: Radiación de alta energía producida por colisión de un haz de electrones con un blanco de metal interno.

Radiología: Estudio de la radiación en ciencias médicas; una rama de la ciencia médica que se ocupa del uso de los rayos X, sustancias radiactivas y de otras formas de energía radiante para el diagnóstico de patologías.

Imagenología: Ciencia usada en medicina y áreas de la salud para el diagnóstico de patologías mediante imágenes independientemente si se tratase o no con radiación ionizante.

Rayos X: Son partículas formados por paquetes de ondas de energía, cada paquete recibe el nombre de fotón y es equivalente a un cuanto de energía.

Radiografía: Representación en dos dimensiones de un objeto tridimensional (axial, sagital y coronal).

Fluorescencia: Brillo que resulta cuando una sustancia fluorescente es golpeada por la luz, los rayos catódicos o los rayos X.

Absorción: Pérdida de energía del haz de rayos X en la interacción con los tejidos.

Dispersión: Cambio de dirección de los fotones de rayos X cuando interactúan con los átomos de las moléculas que componen los tejidos.

Atenuación: Reducción sin pérdida total de energía del haz de rayos X.

1.1.2. Experimentación temprana

El tubo de vacío primitivo utilizado por Roentgen en el descubrimiento de los rayos X fue el resultado de los avances realizados por destacados investigadores. Antes de que se descubrieran los rayos X en 1895, varios científicos europeos habían llevado a cabo experimentos con la fluorescencia en tubos de cristal sellados (2).

En 1838, un soplador de vidrio alemán llamado Henrich Geissler construyó el primer tubo al vacío, un tubo de cristal sellado del cual la mayor parte del aire había sido evacuado. Este tubo de vacío originalmente, conocido como tubo de Geissler (1,2).

Johan Wilhelm Hittorf, físico alemán, utilizó el tubo de vacío para estudiar la fluorescencia. En 1870, él observó que la descarga emitida desde el electrodo negativo del tubo viajaba en línea recta, produciendo calor y dando como resultado una fluorescencia verdosa. Él llamo a estas descargas a lo que hoy en día se lo conoce como rayos catódicos (2,3).

A finales de 1870, William Crookes, químico inglés, reajusto el tubo de vacío y descubrió que los rayos catódicos eran corrientes de vacío y descubrió que los rayos catódicos eran corrientes de partículas cargadas (3).

En 1894, Philip Lenard descubrió que los rayos catódicos podían penetrar una delgada ventana de papel de aluminio incorporada a las paredes de los tubos de cristal y hacer que las pantallas fluorescentes brillaran intensamente. Él notó que cuando el tubo y las pantallas eran separadas por lo menos 8 cm, las pantallas no serían fluorescentes (1,2).

Se conoce que Lenard pudo haber descubierto los rayos X si hubiese utilizado pantallas fluorescentes más sensibles (2).

1.1.3. Descubrimiento de los rayos X

El 27 de marzo de 1845 nace en la ciudad de Lennep, Alemania, Wilhelm Conrad Roentgen, y pasa su primera infancia en la ciudad Neerlandesa de Apeldoorn, en

compañía de sus padres, que eran comerciantes. En 1868 obtiene el título de ingeniero mecánico en la escuela politecnica de Zúrich. En 1869 alcanza el grado de PHD con su tesis Estudio sobre gases en el cual ya mencionaba algo relacionado con tubos al vacío (2,3).

Su mentor el profesor Dr. Kundt, lo invita a ser parte de su equipo académico de física en la Universidad de Julius Maximilians Wurzburg. Tras completar sus estudios en varias Universidades, Roentgen fue contratado como profesor de Física Experimental y nombrado Director del Instituto de Física de Wurzburg en Alemania. Un año más tarde, fue elegido como rector de la universidad (2,3).

Es allí donde inicia su experimentación con los rayos catódicos. Después de estar trabajando en su investigación, el 8 de noviembre de 1895 es cuando Wilhelm Conrad Röntgen marcó un hito en la historia de la medicina ya que descubrió la proyección de los huesos de su mano, al pasar corriente por un tubo de Crookes, estudiando desde entonces las descargas eléctricas en tubos de rayos catódicos (3).

Los mismos que aparecieron tras observar el fenómeno de la fluorescencia al mismo que el describió como un “fenómeno misterioso” ya que evidencio que algo del tubo pegaba a las pantallas y causaba el resplandor; provocado por elementos compuestos por platino cianuro de bario, durante este tiempo que se alimentaron eléctricamente los tubos al vacío de rayos catódicos (2,3).

Además, en las semanas siguientes, continuó estudiando esta experimentación y notó que algunas placas fotográficas almacenadas en paquetes cerrados también habían sido sensibilizadas. Esto lo llevó a investigar durante mucho tiempo el origen de estos dos fenómenos y descubrió que se debían a un rayo poderoso que tenía la capacidad de penetrar cuerpos sólidos y producir emisión de luz en ciertas sustancias (3).

“El desconocimiento de la naturaleza de esta energía hizo que la denomine Rayos X (símbolo X en matemática representa algo desconocido)” (2,3).

Relata la historia que semanas después Roentgen reemplazó las pantallas fluorescentes por una placa fotográfica y demostró que las imágenes con sombras podían ser registradas de forma permanentemente en ellas, colocando

objetos entre el tubo y la placa. Con este método, Roentgen llevó a cabo la primera fotografía del cuerpo humano al colocar la mano de su esposa ; él puso la mano de su esposa sobre una placa fotográfica y exponerla a los rayos desconocidos durante 15 minutos. Después de revelar la placa, pudo observar claramente los huesos de la mano (3).

Al resumir Roentgen el descubrimiento que cambió la historia de la humanidad resalta ciertos parámetros como (4):

- Los rayos se observaron como corrientes de luz que pasaba de un extremo del tubo al otro.
- Los rayos no llegaron a viajar más allá del tubo.
- Los rayos lograron cumplir que las pantallas fluorescentes se resplandecieran.

El 28 de diciembre de 1895, Roentgen le entrega al secretario de la Sociedad Médico – Física de la Universidad de Wurzburg un manuscrito que constituye la primera comunicación sobre su descubrimiento (3,4).

Cinco años más tarde, la Academia Sueca de Ciencias le otorga el primer Premio Nobel de física por su descubrimiento. El 10 de diciembre de 1901, Roentgen recibe el diploma con total humildad y desprendimiento, decidiendo no patentar su descubrimiento y entregarlo a la comunidad científica como aporte a la humanidad (3,4).

Los avances tecnológicos han modificado la práctica clínica con resultados excelentes dentro de la práctica profesional día a día y, en la actualidad, la especialidad aborda temas muy extensos, con la participación de sus departamentos en todas las áreas de atención al paciente (4).

1.1.4. Importancia de las radiografías dentales

Las radiaciones electromagnéticas tienen diversas aplicaciones en todo el mundo en los campos de la salud, agricultura y la industria. Estas radiaciones se

clasifican ionizantes y no ionizantes, dependiendo de su capacidad para ionizar átomos o moléculas. Siendo la radiación ionizante la utilizada en las ciencias médicas de la salud ya que el aporte que entregan estas a la sociedad es muy amplio ya que permite visualizar estructuras internas permitiendo aportar un diagnóstico acertado y un correcto tratamiento pronostico (4).

Debido a la importancia del uso de la radiación en el campo dental o la capacidad para permitir la visualización de estructuras anatómicas, su uso ha sido beneficioso para el conocimiento o la comprensión de patologías en tejidos que no son visibles por inspección simple (3,4).

En el campo de la odontología, los rayos X se emplean para la identificación de patologías y la planificación del tratamiento, así como para la evaluación de estructuras anatómicas. Es fundamental la utilización de radiografías, ya sea en técnicas extraorales o intraorales, según las necesidades del odontólogo. A pesar de que la dosis de radiación es baja, las radiografías dentales se realizan con frecuencia en la cavidad (4).

En odontología, las radiografías intraorales y extraorales permiten al odontólogo general o en sus distintas especialidades identificar un gran número de condiciones que pueden pasar desapercibidas y observar condiciones que no han sido identificadas clínicamente (4). Un examen bucal sin las radiografías dentales limita al odontólogo a lo que se logra ver clínicamente – los dientes, tejidos blandos mientras que con el uso de la radiología dental el odontólogo puede obtener información sobre los dientes y el hueso de soporte (4).

La identificación de patologías del complejo maxilofacial es uno de los puntos más importantes de las radiografías dentales entre ellas las lesiones, enfermedades, condiciones que tienen los dientes y estructuras de soporte que no pueden identificarse clínicamente como, por ejemplo: para aceptar o descartar un diagnóstico presuntivo (2,3).

Es decir, la importancia de la radiología dental se debe a que ayuda a la elaboración de un plan de tratamiento o un posible plan de tratamiento para el paciente.

1.2.Física de la radiación

El conocimiento de la producción de los Rayos X es crucial para el odontólogo general, quien debe poseer una comprensión de las interacciones y la naturaleza de los átomos. Para lograr entender completamente la radiación X, es necesario tener una comprensión profunda de la estructura atómica y molecular, así como del conocimiento práctico de la ionización, las radiaciones ionizantes y las propiedades de los rayos X (4,5).

La imagen radiográfica requiere un análisis profundo desde el punto de vista de la expresión visual de las estructuras estudiadas, en forma, tamaño y dimensiones, así como su conducta absorcional individual. Es importante considerar si estamos evaluando un estudio bidimensional o tridimensional (5).

En los exámenes bidimensionales es orientación confiable de las condiciones patológicas detectadas (3,5).

Estos aspectos que frecuentemente han sido dejados de lado, son la base de un adecuado diagnóstico mediante imágenes, especialmente porque la percepción y el conocimiento de la normalidad van a permitir la identificación de patologías que afectan los tejidos involucrados (1).

1.2.1. Conceptos Fundamentales

1.2.1.1 Estructura atómica y molecular

Átomo

Son elementos básicos de la materia neutros . Se encuentran formados por partículas diminutas, denominadas partículas fundamentales, que se mantienen unidas mediante fuerzas eléctricas y nucleares. Su composición incluye un núcleo central denso, formado por partículas nucleares (protones y neutrones),

y una serie de electrones dispuestos en capas u orbitales específicas alrededor del núcleo (2,6).

Núcleo atómico

Es el centro del átomo, como se mencionó anteriormente está compuesto por protones (+) y neutrones (sin carga) conocidos como nucleones. El núcleo del átomo ocupa muy poco espacio, es decir, la mayor parte del espacio del átomo es vacío (2,6).

Número de masa o número de peso atómico (A)

Es la suma del número de protones y neutrones del núcleo ($A = Z + N$) (2,6).

Número atómico (Z)

Esta representado por el número de protones que se encuentran en el núcleo el cuál será el mismo que el número de electrones (-) de los orbitales. Cada átomo tiene su número atómico por ejemplo el hidrogeno, es el átomo más simple con número atómico 1 mientras que el hannio es el átomo más complejo con número atómico 105 (2,6).

Número neutrónico (N)

Número de neutrones en el núcleo de un átomo (2,6).

Electrones

Son partículas diminutas, con carga negativa que tienen masa muy pequeña, su peso aproximado es de 1/1800 tanto al igual que un protón y un neutrón. La disposición de los electrones y neutrones en un átomo se asemeja al sistema solar en miniatura (2,6).

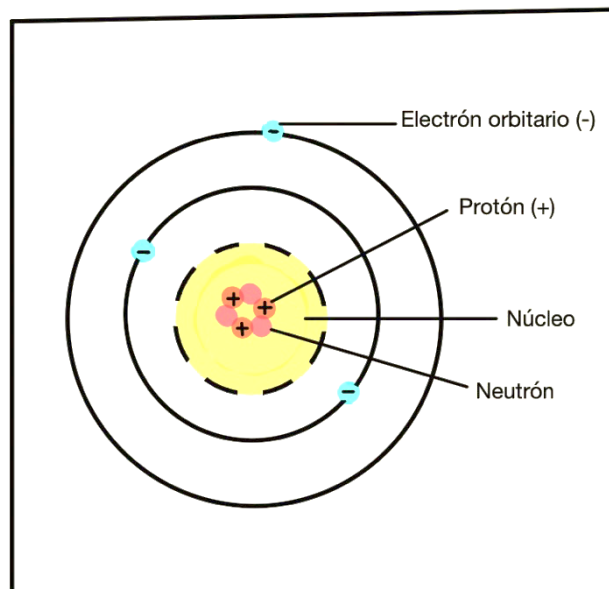
Al igual que los planetas giran alrededor del sol, los electrones viajan alrededor del núcleo en rutas bien definidas conocidas como orbitas o capas. Los electrones se mantienen en sus orbitas por la fuerza electrostática (2,6).

Capas u orbitales atómicos

Un átomo contiene 7 capas, cada una situada a una distancia específica del núcleo y que representa diferentes niveles de energía (6).

Las capas son designadas con letras K, L, M, N, O, P y Q; la capa K se encuentra cerca del núcleo, y cuenta con el mayor nivel de energía. Cada capa tiene un número máximo de electrones que puede contenerlos. Las capas pueden contener un número máximo de electrones por capa (7):

- K: $2e^-$
- L: $8e^-$
- M: $18e^-$
- N: $32e^-$
- O: $50e^-$



El átomo consiste en un núcleo central y electrones orbitando

Figura 1. El átomo Fuente: Elaboración propia

Fuerza electrostática o energía de enlace

Es la fuerza de atracción entre el núcleo positivo y los electrones negativos, conocida también como fuerza de unión de un electrón (2,7).

La energía de enlace de un átomo esta basada en la distancia entre el núcleo y el electrón en su orbita, y esta energía varía para cada orbital. La capa K, que se encuentra más cercana al núcleo, tiene mayor energía de enlace, mientras que los electrones en capas externas tienen una energía de enlace más débil. Las energías de enlace de los electrones orbitales se miden en electro voltio (eV) o kilo electro voltio (keV) (3,8).

Para quitar un electrón de su capa orbital, se necesita cierta cantidad de energía que supere la energía de enlace del electrón en esa capa. Se necesita una gran cantidad de energía para lograr desplazar un electrón del centro de la capa, pero los electrones que se encuentran en las capas externas pueden ser afectados por energías más bajas. Por ejemplo, en el caso del tungsteno, un material que es utilizado en la Imagenología, su átomo tiene las siguientes energías de enlace (2,8):

- 70keV: Capa K.
- 12keV: Copa L.
- 3keV: Capa M.

Es importante mencionar aquí que para desplazar un electrón de la capa K es necesario 70keV mientras que en la capa más externa es decir la M solo se requiere 3keV de energía (8).

Isotopos

Átomos con el mismo número atómico (Z), pero diferente número de masa atómica (A) y, por tanto, diferente número de neutrones (N) (8,9).

Radioisotopos

Isotopos con núcleos inestables que experimentan una desintegración reactiva, causan modificaciones en los tejidos del paciente ya que los vuelve radiactivos, siendo el paciente una fuente de radiación ionizante. Se realiza con la inyección de ciertos compuestos radiactivos que tiene afinidad con tejidos “diana” (9).

Entre las emisiones importantes de radioisótopos están: partículas alfa (α), beta (β)- o (β)+ (9,10).

Molécula

Son la unión de dos o más átomos mediante enlaces químicos, o se refiere a la cantidad más pequeña de una sustancia que conserva sus propiedades distintivas. Al igual que los átomos, la molécula es una partícula invisible, pequeña. Las moléculas se forman de 2 formas (3,10):

- Mediante la transferencia de electrones.
- A través del intercambio de electrones entre las capas más externas de los átomos.

1.2.2. Ionización, radiación y radiactividad

Ionización: Proceso de extracción de un electrón de un átomo. Los átomos pueden encontrarse en un estado neutro o eléctricamente desequilibrado (3,10).

Cuando un átomo presenta una capa exterior incompleta, desequilibra eléctricamente y trata de captar un electrón de un átomo adyacente. Cuando un átomo adquiere un electrón adicional, tendrá más electrones que protones y neutrones, lo que resulta en una carga negativa. En este caso, el átomo se convierte en un ion positivo, mientras que el electrón expulsado se convierte en un ion negativo (10).

Ion: Cuando el átomo pierde un electrón, su número de protones y neutrones supera al de los electrones, lo que le da una carga positiva. Esto da como resultado que el átomo se vuelva eléctricamente desequilibrado al perder o ganar un electrón (3,10).

Radiación: Es el proceso por el cual la energía se emite y se propaga a través del espacio o de una sustancia en forma de ondas o partículas (2,10).

Radiactividad: La desintegración nuclear es el proceso en el cual los átomos o los elementos inestables experimentan una descomposición espontánea para alcanzar un estado nuclear más equilibrado. Cuando una sustancia logra emitir

en forma de rayos como resultado de la desintegración que se da de los núcleos atómicos, se considera reactiva (3).

1.2.3. Radiación ionizante

Radiación que es capaz de producir iones quitando o añadiendo un electrón a un átomo. Se clasifican en dos grandes grupos: radiación de partículas y electromagnética (3,10).

1.2.3.1. Radiación de partículas

Se refiere a la emisión de diminutas partículas de materia que tienen masa y viajan a altas velocidades en línea recta. Estas partículas transmiten energía cinética debido a su rápida y pequeña masa (5,10).

Existen 4 tipos de radiación de partículas que son (1):

- **Electrones:** se diferencian por su origen solamente en 2 que son:
 - **Partículas beta:** electrones rápidos emitidos desde el núcleo de átomos radiactivos.
 - **Rayos catódicos:** son corrientes de electrones de alta velocidad que se originan en un tubo de rayos X.
- **Partículas alfa:** son emitidas por los núcleos de metales pesados y consisten 2 protones y 2 neutrones, sin la presencia de electrones.
- **Protones:** son partículas aceleradas, especialmente los núcleos de hidrogeno, con una masa de 1 y una carga de +1.
- **Neutrones:** son partículas aceleradas con masa de 1 y sin carga eléctrica.

1.2.3.2. Radiación ionizante o electromagnética

Es definida como la propagación de la energía ondulatoria (sin masa) a través del espacio o la materia. La energía propagada se encuentra acompañada de campos eléctricos y magnéticos que se encuentran situados en ángulos rectos entre sí, adecuándose al termino electromagnético (5,10).

Las radiaciones electromagnéticas son generadas tanto por actividades humanas o se producen de forma natural, y abarcan los rayos cósmicos, los rayos gamma, los rayos X, la radiación ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja, ondas radar, las microondas y ondas de radio (5,10).

Las radiaciones electromagnéticas se organizan en función de la energía a lo que se lo conoce como espectro electromagnético, compartiendo características comunes (11).

De acuerdo a los niveles de energía se clasifican en radiación ionizante y no ionizante. Siendo exclusivamente las radiaciones de alta energía como los rayos gamma y rayos X las capaces de ionizar los cuerpos (6,12).

Las radiaciones electromagnéticas se mueven por el espacio como una partícula y una onda (12):

- **Partícula:** Los fotones son unidades discretas de energía que se desplazan en forma de ondas a la velocidad de la luz. Estos paquetes de energía no tienen ni masa ni peso, y se logran mover en línea recta a través del espacio, llevando consigo la energía de la radiación electromagnética (12).
- **Onda:** Radiaciones electromagnéticas en forma de onda y se centran en las propiedades de longitud, velocidad y frecuencia (6,12).
- **Velocidad:** Las radiaciones electromagnéticas se desplazan a la velocidad de la luz en una secuencia continua de crestas (1,13).
- **Longitud de onda:** se conoce como la distancia entre una cresta de una onda y la siguiente cresta. Esta propiedad de la radiación determina tanto la potencia de la energía como la capacidad de penetración de la radiación (6,13).

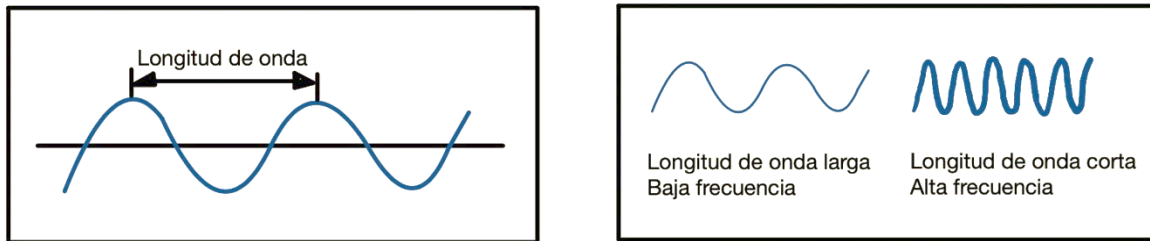


Figura 2. Longitud de onda y frecuencia. Fuente: Elaboración propia

- **Frecuencia:** La frecuencia es la cantidad de veces que una longitud de onda atraviesa un punto específico en un determinado período de tiempo (2,13).

La frecuencia y la longitud de onda están directamente relacionadas con su capacidad de penetración y por lo tanto la calidad de la imagen que se obtenga.

Por ejemplo, los medios de comunicación usan longitudes de onda largas de hasta 100m mientras que los rayos X tienen longitudes de onda cortas de aproximadamente 0,1mm de ahí su mayor capacidad de penetración y por lo tanto de ionización (2,13).

Propiedades de las radiaciones electromagnéticas

Las propiedades de las radiaciones ionizantes las podemos observar a continuación (2):

- Carecen de masa y peso.
- No poseen carga eléctrica.
- Se desplazan a la velocidad de la luz.
- Presentan una dualidad partícula-onda en su naturaleza.
- Propagan un campo magnético en ángulos rectos a la electricidad.
- Llegan a tener diferentes energías medibles; frecuencia/longitud de onda.

1.2.4. Definición de rayos X

La radiación X son una forma de radiación electromagnética de alta energía e ionizante. De igual manera que todas las radiaciones magnéticas, los rayos X exhiben características tanto de ondas como de partículas. Se describen como paquetes de energía sin mas y sin carga eléctrica, que se pueden desplazar en forma de ondas con una frecuencia específica a la velocidad de la luz (3,5).

Es importante mencionar la clasificación de la radiación X; siempre hemos escuchado términos como primaria, secundaria y dispersión para describir la radiación X pero que significa y cuando se produce cada uno de ellos:

- **Radiación primaria:** hace referencia a la penetración del haz de rayos X que se produce en el blanco de ánodo y que sale por el cabezal, este tipo de radiación se conoce como el haz primario o útil (13).
- **Radiación secundaria:** es un tipo de radiación creada cuando el haz primario interactúa con la materia. Esta radiación es menos penetrante que la primaria (13).
- **Radiación dispersa:** es un tipo de radiación secundaria y es el resultado de los rayos X que se han desviado de su ruta por la interacción con la materia. La dispersión de la radiación se da en todas direcciones por los tejidos del paciente y se desplaza por todas las partes del cuerpo del paciente y dentro de todas las áreas del consultorio dental. La dispersión de la radiación es perjudicial para el paciente y el radiólogo ya que genera alteración en la calidad de la imagen radiográfica (13).

Los rayos X tienen propiedades únicas o características. Es importante que el odontólogo general conozca dichas propiedades (14).

- **Apariencia:** son invisibles y no logran ser detectados por los sentidos.
- **Masa:** no poseen masa ni peso.
- **Carga:** no tienen carga.
- **Velocidad:** viajan a la velocidad de la luz.
- **Longitud de onda:** corta y frecuencia alta.

- Viajan en línea recta y pueden ser desviados o dispersados. Cuando parte de esta energía es dispersada se la conoce como radiación secundaria y es la que en las imágenes disminuye su calidad siendo determinante en el diagnóstico.
- **Penetración:** pueden penetrar líquidos, sólidos y gases. Una parte es absorbida, otras dispersada y la otra no es modificada y atraviesa la materia. Por lo tanto, el poder de penetración de los rayos X dependerá del número atómico del elemento
- Son absorbidos por la materia y depende de la composición atómica de los elementos.
- Provocan fluorescencia, que es el fenómeno en el cual ciertas sustancias son capaces de absorber energía de radiaciones electromagnéticas (rayos X) y luego emitir parte de esa energía en forma de radiación electromagnética con longitudes de onda diferentes, visible para nosotros. Las sustancias conocidas como cianuro de bario, sulfuro de zinc y tungsteno de calcio son capaces de emitir radiación visible debido a la influencia de los rayos X.
- Generan efectos sobre una película.
- Producen cambios biológicos en las células vivas, a través de los efectos directos e indirectos que producen alteraciones en los tejidos más sensibles a las radiaciones ionizantes formando sustancias tóxicas para el organismo y causando daño en las células como ejemplo las células de la médula ósea.
- Todas las células vivas experimentan cambios cuando son expuestas a la radiación. Estos cambios se producen a nivel atómico y molecular en las células.
- Las modificaciones en las estructuras celulares pueden tener efectos genéticos o funcionales, y la radiación tiene un efecto acumulativo. La modificación de las estructuras celulares dependerá de varios factores.

1.3. Producción de rayos X

1.3.1 Producción de rayos X dentales

Los rayos X ocurren en aparatos denominados equipos generadores de rayos X. La parte que genera rayos X en los equipos es al que se lo conoce como cabezal del tubo de rayos X que es el encargado de la producción de rayos X, estos contienen una pequeña estructura de vidrio al vacío denominado tubo de rayos X, por lo tanto, estos se producen en el tubo de rayos X cuando los electrones energéticos (de alta velocidad) bombardean el objetivo y pasan súbitamente a un estado de reposo (2,15).

Características principales y requisitos del tubo de rayos X (3,15):

- **Cátodo:** negativo, consiste en un filamento calentado de tungsteno que proporciona la fuente de electrones.
- **Ánodo:** positivo, consiste en un anticátodo (diana de tungsteno) dispuesto en la cara angulada de un gran bloque de cobre para facilitar la eliminación eficiente de calor.
- **Dispositivo de enfoque:** sirve para que la corriente de electrones incida en el punto focal del anticátodo.
- **Elemento de alta tensión:** denominado kilovoltaje (Kv) conectado entre el cátodo y el ánodo acelera los electrones desde el filamento negativo al anticátodo positivo. A veces, esta acción se denomina (kVp) o pico de kilovoltaje, el mismo que será descrito en el capítulo II.
- **Corriente:** denominada miliamperaje (Ma) circula desde el cátodo al ánodo. Se define como una medida de la cantidad de electrones que están siendo acelerados.
- **Cubierta de plomo:** se utiliza la absorción de los rayos X no deseados como una medida de protección contra la radiación, dado que los rayos X se emiten en todas las direcciones.
- **Aceite circundante:** facilita la eliminación de calor producido por la producción de rayos X.

Consideraciones prácticas (3,15):

- La producción de rayos X puede resumirse en la siguiente secuencia de acontecimientos:
- La aplicación de corriente eléctrica al filamento genera calor y crea una nube de electrones alrededor de él.
- La alta tensión (diferencia de potencial) que atraviesa el tubo logra acelerar los electrones a una muy elevada velocidad hacia el ánodo.
- El dispositivo de enfoque trata de enfocar el flujo de electrones en el punto focal del anticátodo.
- Los electrones chocan con el anticátodo y se detienen repentinamente, alcanzando un estado de reposo.
- La energía perdida por los electrones se convierte en calor (aproximadamente 99%) o en rayos X (aproximadamente 1%).
- El calor producido se elimina y se disipa por medio del cobre y del aceite circundante.
- Los rayos X son emitidos en todas direcciones desde el anticátodo, pero aquellos que pasan a través de la pequeña ventana en la cubierta de plomo forman el haz utilizado con propósitos de diagnóstico.

1.3.2. Espectros de rayos X

Las interacciones a nivel atómico se producen cuando los electrones de alta velocidad bombardean el anticátodo participando de esta forma en dos tipos principales de colisión con los átomos de tungsteno (5,15):

1.3.2.1. Colisiones productoras de calor

El electrón incidente es desviado por la nube de electrones de las capas exteriores del tungsteno, con una pequeña pérdida de energía en forma de calor (15).

El electrón incidente colisiona con un electrón de una capa exterior del tungsteno, desplazándolo a una capa más periférica (excitación) o extrayéndolo del átomo (ionización, de nuevo con una pequeña pérdida de energía en forma de calor (1).

Puntos importantes a tomar en cuenta en este tipo de colisiones son:

- Las interacciones que producen calor son las más comunes, ya que existen millones de electrones incidentes y muchos electrones en las capas exteriores del tungsteno con los que interactúan (14,15).
- Cada electrón individual de bombardeo puede experimentar numerosas colisiones productoras de calor, con el resultado de una cantidad considerable de calor en el anticátodo (15).
- El calor debe eliminarse con rapidez y eficacia para que el anticátodo no resulte dañado. Esto se consigue colocando el anticátodo de tungsteno en el bloque de cobre, aprovechando así la alta capacidad térmica y las buenas propiedades conductoras del cobre (16).

1.3.2.2. Colisiones productoras de rayos X

El electrón incidente penetra en las capas exteriores y pasa cerca del núcleo del átomo de tungsteno. El electrón incidente se frena drásticamente y es desviado por el núcleo con una gran pérdida de energía, que se emite en forma de rayos X (15,16).

La energía y longitud de onda de los rayos X generados en el tubo de rayos X varían, ya que dependen de la interacción de los electrones con los átomos de tungsteno en el ánodo (15).

Las energías cinéticas de los electrones se convierten en fotones de rayos X a través de uno de los dos mecanismos: radiación general (de frenado) y radiación característica (16).

Las dos colisiones generadoras de rayos X dan como resultado la producción de dos tipos diferentes de espectros de rayos X:

1.3.3. Tipos de espectros

1.3.3.1. Espectro continuo

Los fotones de rayos X emitidos por la desaceleración de los electrones de bombardeo que pasan cerca del núcleo del átomo de tungsteno reciben el nombre de bremsstrahlung o radiación de frenado (2,16).

La magnitud de la desaceleración y el grado de desviación determinan la cantidad de energía que pierde el electrón de bombardeo y, con ello, la energía del fotón emitido resultante. Por lo tanto, es posible obtener una amplia gama o espectro de fotones, que recibe el nombre de espectro continuo, en consecuencia, un fotón de rayos X resulta en energía más baja (16).

El electrón, que pierde el núcleo continúa penetrando muchos átomos, produciendo mas consumo de energía de rayos X antes de que se desprenda la totalidad de su energía cinética (16).

Por lo tanto, el termino de frenado se denomina a la detención repentina de los electrones de alta velocidad cuando golpean el blanco de tungsteno en el ánodo (3,16).

Resumiendo, la producción de la radiación de frenado se generan las siguientes reacciones:

- Las pequeñas desviaciones de los electrones de bombardeo son las más comunes y producen muchos fotones de baja energía.
- Los fotones de baja energía tienen escaso poder de penetración y la mayoría de ellos no llegarán a salir del tubo de rayos X. No contribuyen al haz útil de rayos X. Esta eliminación de fotones de baja energía del haz se denomina filtrado radiográfico.
- Las grandes desviaciones son menos probables por lo que hay pocos fotones de alta energía.

- La máxima energía fotónica posible se relaciona directamente con la magnitud de la diferencia de potencial (Kv) en el tubo de rayos X.

1.3.3.2. Espectro característico

Después de la ionización o excitación de los átomos de tungsteno por los electrones de bombardeo, estos se encuentran en órbita se reorganizan para devolver al átomo al estado neutro fundamental. De acuerdo a esto el electrón salta desde una capa a otra, resultando la emisión de fotones de rayos X con energías específicas (16).

Según se indicó anteriormente, las capas de energía son específicas para cada átomo en concreto. Los fotones de rayos X emitidos desde el anticátodo se describen como característicos de los átomos de tungsteno y forman el espectro característico o lineal. Las líneas de los fotones se denominan K y L, dependiendo de la capa desde la cual se hayan emitido (16).

Esta radiación se genera cuando un electrón de alta velocidad expulsa a un electrón de una capa interior del átomo de tungsteno, lo que resulta en la ionización de dicho átomo. Después de que el electrón es expulsado, los electrones restantes en órbita se reorganizan para ocupar ese “espacio vacío” (16).

Esta reorganización produce una pérdida de energía que resulta en la producción de un fotón de rayos X conocido como “radiación característica” (17).

La cantidad de radiación característica que se genera en un haz de rayos X es muy pequeña en los equipos odontológicos aproximadamente el 25% (16,17).

Como resumen de los procesos que ocurren en la radiación característica se menciona:

- Solo las capas K son de importancia diagnóstica, ya que las capas L tienen una energía excesivamente baja.

- El electrón de bombardeo de alta velocidad debe presentar suficiente energía (69,5Kv) para desplazar un electrón de la capa K del tungsteno. Es importante recordar que la energía de los electrones de bombardeo se relaciona directamente con la diferencia de potencial (Kv) en el tubo de rayos X.
- Los fotones de la capa K característica no son producidos por los tubos de rayos X con anticátodos de tungsteno que funcionen a menos de (69,5 Kv), es lo que se denomina tensión crítica.
- El equipo de rayos X odontológicos funcionan habitualmente con una energía entre 60 y 90 Kv.

1.3.3.3. Espectros combinados

En el equipo de rayos X que funciona a más de 69,5Kv, el espectro total final del haz de rayos X útil será el total de la suma de los espectros continuo y característico (17).

1.4. Interacciones de la radiación X con la materia

La absorción corresponde a una parte importante en la forma en la que interactúan los rayos X con la materia, ya que corresponde a la conducta que tiene un objeto al paso de los rayos X. Gracias al fenómeno de absorción diferencial de los tejidos es que se pueden diferenciar las diferentes estructuras anatómicas, variantes anatómicas o alteraciones patológicas (2,3).

La conducta absorcional de los cuerpos depende básicamente de 3 factores propios de su naturaleza como son:

- Número atómico (Z)
- Grosor del tejido (T)
- Densidad atómica (p)

Siendo el único factor que no depende del tejido es la capacidad de penetración de los rayos X, determinada por el kilovoltaje asignado en el panel de control, que determina finalmente la calidad del haz de rayos X (3,15).

Las unidades de energía mediante las cuales los rayos X interactúan con los tejidos se llaman fotones y en este momento pueden presentar cuatro destinos posibles (1,2,17):

- Incidir en un tejido sin cambio de energía ni dirección.
- Perder totalmente su energía.
- Dispersarse parcialmente es decir parcialmente absorbidos y parcialmente disminuida su energía.
- Dispersión total sin pérdida de energía.

El conocimiento de la estructura atómica y molecular es necesario para comprender estas interacciones y efectos que se pueden dar. En el nivel atómico, cuatro posibilidades pueden ocurrir cuando un fotón de rayos X interactúa con la materia (17):

- Dispersión Rayleigh o no modificada: dispersión pura.
- Efecto fotoeléctrico: absorción pura.
- Efecto Compton: dispersión y absorción.
- Producción de pares: absorción pura.

En odontología solo serán importantes dos tipos de interacciones en el intervalo de energía de rayos X (17):

- Efecto fotoeléctrico.
- Efecto Compton.

1.4.1. Efecto fotoeléctrico

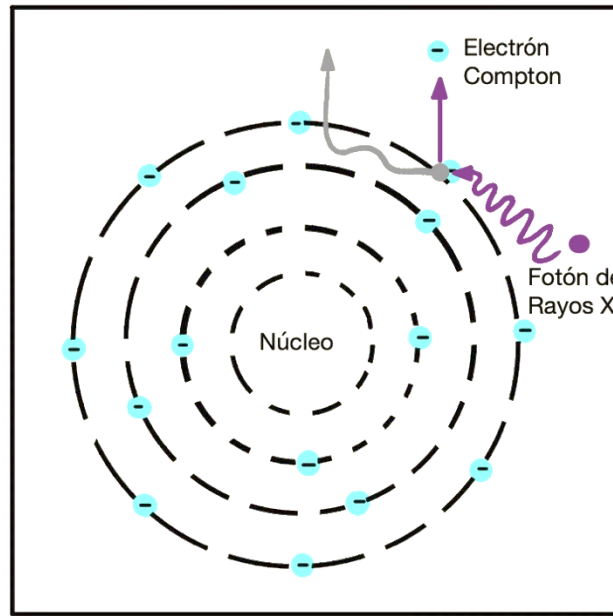
Es una interacción de absorción pura que predomina con fotones de baja energía. Entre las fases que se producen en el efecto fotoeléctrico están (1,17):

- Un fotón de rayos X entra en contacto con un electrón que está unido a una capa interna del átomo en el tejido.
- El electrón de la capa interna es expulsado con una cantidad significativa de energía (fotoelectrón) y se moverá a través del tejido, experimentando más interacciones.
- El fotón de rayos X desaparece después de transferir toda su energía; este proceso se conoce como absorción completa.
- El hueco que existe ahora en la capa interna es ocupado por electrones de las capas externas que van saltando de capa a capa.
- Esta cascada de electrones a nuevos niveles de energía tiene como resultado la producción de muy baja energía que se absorbe con gran rapidez, como ejemplo la luz.
- Finalmente se alcanza estabilidad atómica por la captura de un electrón libre que devuelve el estado neutro del átomo.
- El fotoelectrón expulsado de alta energía se comporta de manera similar al fotón de rayos X original de alta energía, experimentando múltiples interacciones y liberando otros electrones a medida que atraviesa el tejido. Estos electrones de alta energía expulsados son responsables de la mayoría de las interacciones de ionización en el tejido y del posible daño resultante asociado a los rayos X. ionización dentro del tejido y del posible daño resultante atribuido a los rayos X.

Dentro de los puntos importantes a tomar en cuenta en este tipo de efecto están (1,16):

- La energía del fotón de rayos X debe ser igual, o superior, a la energía de enlace del electrón de la capa interna para poder expulsarlo.
- Mientras aumenta la densidad (número atómico) el número de electrones asociados a las capas internas también aumenta. La probabilidad de que se produzcan interacciones fotoeléctricas es igual a su número atómico. Por ejemplo, el plomo tiene un número atómico de 82 de ahí su uso en protección radiológica, mientras que el número atómico de la piel es 7 y el hueso 12; esto explica la evidente diferencia de radiodensidad y el contraste entre los diferentes tejidos observado en las radiografías.

- Esta interacción predomina con fotones de rayos X de baja energía. Esto explica porque los equipos de rayos X con bajo KV producen mayor absorción (dosis) en los tejidos del paciente, pero proporcionan imágenes con buen contraste.
- El resultado global de la interacción es la ionización de los tejidos.



Cuándo un fotón de rayos X choca con un electrón de la capa externa y expulsa al electrón de su órbita ,resulta la dispersión Compton: El fotón es dispersado en diversas direcciones con una energía más baja y el electrón expulsado se refiere como un electrón Compton, o de retroceso

Figura 3. Efecto fotoeléctrico de la radiación ionizante Fuente: Elaboración propia

1.4.2. Efecto Compton

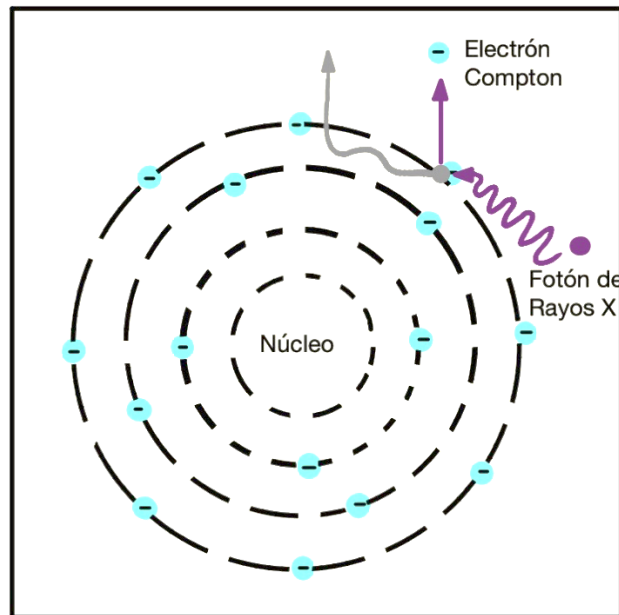
El proceso de absorción y dispersión ocurre cuando fotones de alta energía interactúan con electrones de las capas externas poco ligadas o libres en el tejido. Durante esta interacción, el electrón de la capa exterior es expulsado con pérdida de energía, conocido como electrón de retroceso Compton (1,17).

Parte de la energía del fotón incidente es absorbida, mientras que el resto se desvía o dispersa de su trayectoria original (1,17).

El fotón dispersado puede experimentar más interacciones Compton o fotoeléctricas dentro del tejido, escapar de los tejidos como radiación dispersa de interés clínico, o contribuir a la estabilidad atómica mediante la captura de otro electrón libre (1,17).

Características importantes a tomar en cuenta en este tipo de efecto (1,17):

- La energía del fotón de rayos X incidente es mucho mayor que la energía de enlace del electrón libre o de la capa externa.
- El fotón de rayos X incidente no puede distinguir entre un electrón libre y otro; la interacción no depende del número atómico (Z). Así, esta interacción proporciona muy escasa información diagnóstica, ya que existe muy poca discriminación entre diferentes tejidos en la radiografía final.
- Esta interacción predomina con energías elevadas de rayos X. Esto explica porque los equipos de rayos X de alto voltaje producen radiografías con escaso contraste.
- La energía del fotón dispersado es siempre menor que la energía del fotón incidente, dependiendo de la energía suministrada al electrón de retroceso.
- Los fotones dispersados pueden desviarse en cualquier dirección, pero el ángulo de dispersión depende de su energía. Los fotones dispersados de alta energía producen dispersión anterógrada; los de baja energía, dispersión retrógrada.
- La dispersión anterógrada puede alcanzar la película y degradar la imagen.
- El resultado final de la interacción es la ionización de los tejidos.



Cuándo un fotón de rayos X choca con un electrón de la capa externa y expulsa al electrón de su órbita ,resulta la dispersión Compton: El fotón es dispersado en diversas direcciones con una energía más baja y el electrón expulsado se refiere como un electrón Compton, o de retroceso

Figura 4 Efecto Compton Fuente: Elaboración propia

1.4.3.1 Efecto sin interacción o Rayleigh

Es posible que un fotón de rayos X pase a través de la materia o los tejidos de un paciente sin ninguna interacción. El fotón de rayos X pasa a través del átomo inalterado y deja al átomo sin cambios. Los fotones de rayos X que pasan a través de un paciente sin la interacción son responsables de producir densidades y hacer una radiografía dental posible (1,2).

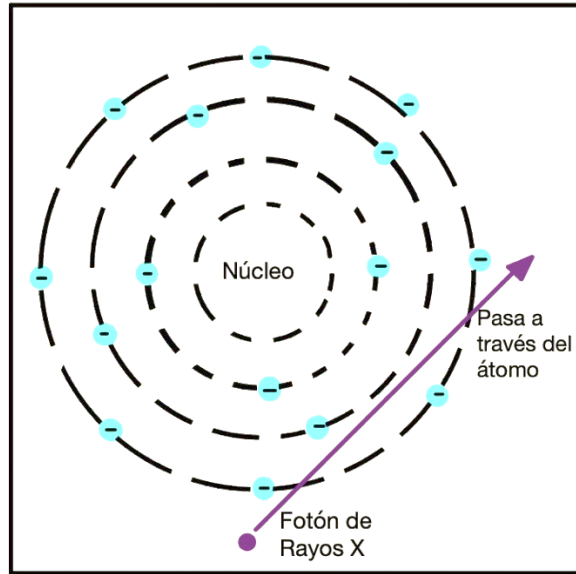
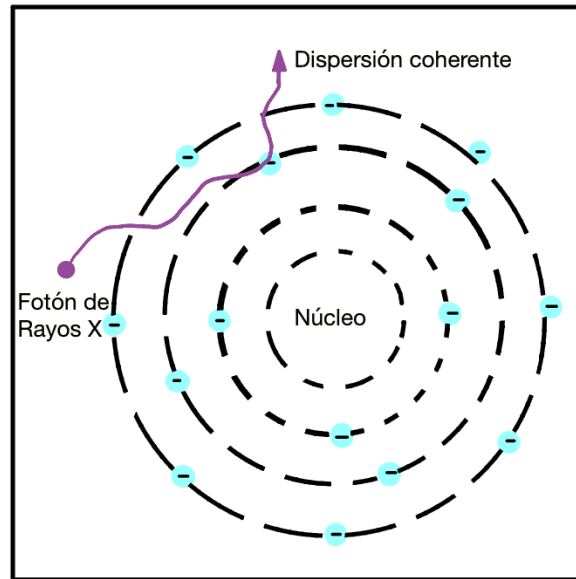


Figura 5. Efecto sin interacción o Rayleigh Fuente: Elaboración propia

1.4.4. Efecto dispersión coherente o dispersión sin modificar

La dispersión coherente implica un fotón de rayos X que tiene su trayectoria alterada por la materia. La dispersión coherente se produce cuando fotón de rayos X de bajo consumo de energía interactúan con un electrón de la capa externa. No se produce ningún cambio en el átomo, y se produce un fotón de rayos X de radiación dispersa (1,2,17).

El fotón de rayos X experimenta dispersión en una dirección diferente a la del fotón incidente, sin perder energía ni producir ionización. Básicamente, el fotón de rayos X permanece "inalterado" y simplemente sufre un cambio en la dirección sin cambio en la energía. La dispersión coherente representa aproximadamente el 8% de las interacciones de la materia con el haz de rayos X dental (1,17).



Cuándo se dispersa un fotón de rayos X y no ocurre ninguna pérdida de energía, la dispersión se llama coherente

Figura 6. Efecto de dispersión coherente o dispersión sin modificar Fuente:

Elaboración propia

1.5. Calidad del haz de Rayos X

“La longitud de onda determina la energía y el poder de penetración de la radiación” (1)

El haz de radiación tiene gran importancia en la calidad de la imagen en el resultado del estudio radiográfico y en la dosis recibida por el paciente. El termino calidad en las radiografías dentales se utiliza para medir la capacidad de penetración del haz de rayos X o la energía media (2,17).

En efecto se conoce que un haz de radiación que presenta un kilovoltaje más alto (lo que se define como calidad de haz alta) será más penetrante y por consecuencia atravesará más fácil los tejidos del paciente (3,17).

Los Rayos X que presentan una longitud de onda larga será menos penetrante, mientras que las longitudes de onda que son más cortas tendrán una energía más penetrante para el paciente (2).

Desde otra perspectiva, los conceptos de calidad de imagen y dosis del paciente son inversamente proporcionales por lo cual es importante que exista un equilibrio entre una calidad suficiente para el diagnóstico con la menor cantidad de dosis posible (1,2).

El kilovoltaje controla la calidad y la energía del haz de rayos X (2).

1.5.1. Voltaje y kilovoltaje

El voltaje es una medida de la fuerza eléctrica que se refiere a la diferencia de potencial entre dos cargas eléctricas. En el cabezal de rayos X dental, el voltaje representa la fuerza eléctrica que impulsa a los electrones a moverse desde el cátodo negativo hacia el ánodo positivo. El voltaje determina la velocidad de los electrones que viajan desde el cátodo hasta el ánodo (3).

Cuando la velocidad de los electrones aumenta es consecuencia del aumento del voltaje, que da por resultado que los electrones ataquen con mayor fuerza y energía para así el haz de rayos X sea más penetrante y con una longitud de onda corta (6).

La aceleración de los electrones a alta velocidad se consigue aplicando una diferencia de potencial entre el filamento que es el cátodo (-) y el blanco que es el ánodo (+) (6).

El voltaje se mide en voltios o kilovoltios. El voltio (V) es la unidad de medida que se utiliza para poder describir el potencial que conduce una corriente eléctrica a través de un circuito. Los equipos de Rayos X funcionan con kilovoltios; 1 kilovoltio (kV) es igual a 1000 V. Se considera que un Rayos X necesita el uso de 65 a 100 kilovoltios, por lo cual más de 100 Kv es sobrepenetración (3).

El kilovoltaje permite controlar especialmente la penetración y el contraste, de manera que las reducciones del kilovoltaje mejorarían el contraste conjuntamente disminuyendo la penetración del haz de rayos X.

El kilovoltaje se puede ajustar según las necesidades de cada paciente. El uso de 85 a 100 kilovoltios produce radiografías dentales con una mayor penetración con mayor energía y longitudes de onda más cortas, mientras que el uso de 65 a 75 kilovoltios produce radiografías dentales menos penetrantes con menor energía (3).

1.5.2. Pico de kilovoltaje

“La calidad, o la longitud de onda y la energía del haz de los Rayos X, son controlados por el pico de kilovoltaje. El pico de kilovoltaje regula la velocidad y la energía de los electrones y determina la capacidad de penetración del haz de los rayos X. Aumentando el pico de voltaje (kVp) resulta de un haz con mayor energía y un incremento en la penetración” (3).

1.5.3. Densidad y pico de voltaje

Se conoce a la oscuridad que se presenta en una radiografía. Es importante que las imágenes de las estructuras dentarias y estructuras anatómicas o de soporte tengan la densidad suficiente para que se puedan observar contra una fuente de luz, sin embargo, si se presenta una radiografía muy densa las imágenes serán muy oscuras y no será posible distinguirlas (18).

Para que una radiografía tenga una densidad adecuada, el profesional debe observar las áreas negras (espacios de aire), áreas blancas (esmalte, la dentina y hueso) y las áreas grises (tejido blando) (18).

Cuando se ajusta el valor de pico del kilovoltaje (kVp), se produce un cambio en la densidad de la radiografía. Si se aumenta el kVp mientras se mantienen constantes otros factores de exposición, como el miliamperaje y el tiempo de exposición, la imagen resultante tendrá una mayor densidad y se verá más

oscura. Por otro lado, si se disminuye el kVp, la imagen mostrará una menor densidad y se verá más nítida (3).

1.5.4. Contraste y pico de voltaje

Se conoce como contraste al grado de diferencia en la cantidad de luz transmitida a través de áreas adyacentes de una radiografía. Se considera que una radiografía tiene alto contraste cuando presenta áreas muy claras y otras muy oscuras. Y se considera de bajo contraste al contrario y presentando tonos de gris (18).

Un ajuste en el pico de voltaje da lugar a un cambio en el contraste de una radiografía. Cuando se utilizan picos de voltaje (65-70 kVp), resulta de una imagen con un alto contraste que tendrá muchas áreas negras y blancas y pocos tonos de gris, esta nos ayudará para la detección de la caries dental.

Un pico de voltaje de (69 kVp) resulta de un bajo contraste. Esta presenta muchos tonos grises en vez de blanco y negro. Esta será útil para la detección de la enfermedad periodontal o periapical (3).

AJUSTE	DENSIDAD	CONTRASTE
+kVp	+ (Más oscuro)	Bajo
-kVp	- (Más claro)	Alto

Tabla 1. Efecto del pico de Kilovoltaje (kVp) en la densidad y contraste de la imagen.

Fuente: Guzmán Zuluaga CL, Contreras Escobar CA, Rabanal Vera CP. Radiología clínica oral y maxilofacial. Amolca ed. M GSC, editor. Santiago de Chile: Amolca ; 2019.

1.5.5. Tiempo de exposición y pico de voltaje

El tiempo durante el cual se generan los rayos X se denomina tiempo de exposición. Este tiempo se mide en pulsos, ya que los rayos X se generan en una serie de exposiciones o pulsos en lugar de una corriente continua. Se produce un pulso cada 1/60 segundos, lo que significa que se generan 60 pulsos en 1 segundo (3).

Cuando se aumenta el pico de voltaje para compensar el poder penetrante del haz de rayos X, es necesario ajustar el tiempo de exposición (3).

1.6. Cantidad del Haz de Rayos X

Se conoce como el número de rayos X producidos en una unidad de rayos X.

1.6.1 Amperaje y miliamperaje

El amperaje determina la cantidad de electrones que pasan a través del filamento del cátodo. Aumentar el amperaje incrementa la producción de rayos X, ya que más electrones están disponibles para viajar del cátodo al ánodo. La medida utilizada para describir la corriente que atraviesa el filamento es el amperio (A), pero en el caso de los equipos de Rayos X se utiliza el miliamperio (mA), que es igual a 1/1000 de un amperio (3).

En radiología dental, se recomienda un rango de miliamperaje de 7 a 15 mA. No se recomienda utilizar un ajuste mayor de 15 mA debido a que generaría un exceso de calor en el tubo de rayos X (3).

El miliamperaje también regula la temperatura del filamento del cátodo. Un ajuste más alto de miliamperaje aumenta la temperatura del filamento y, por lo tanto, la cantidad de electrones producidos. Esto a su vez resulta en un mayor número de rayos X emitidos desde el tubo (3).

1.6.2. Miliamperios por segundo

“Los miliamperios y el tiempo de exposición tienen una influencia directa en el número de electrones producidos por el filamento del cátodo”. (3) El producto de estos dos es a lo que se conoce como miliamperios por segundo (mAs). Cuando existe un aumento en el miliamperaje, el tiempo de exposición se debe disminuir, y viceversa (3).

La cantidad de Rayos X es directamente proporcional a la corriente medida en mAs. Cuando se dobla la corriente, se crea una duplicación en el número de electrones que llegan al blanco del tubo, y esto da como consecuencia que se emitan dos veces más rayos X (6).

1.6.3. Densidad y miliamperaje

El mA, como con el pico de kV, tiene un efecto en la densidad de la imagen dental. Si se da un aumento en el mA existirá un aumento en la densidad de la radiografía y dará como resultado una imagen más oscura, y así inversamente proporcional (3).

1.6.4. Tiempo de exposición y miliamperaje

El tiempo de exposición y el miliamperaje tienen una relación inversa. Si se realiza un cambio en el miliamperaje, es necesario ajustar el tiempo de exposición para mantener la densidad deseada. Cuando se aumenta el miliamperaje, el tiempo de exposición debe ser reducido (3).

1.7. Intensidad del Haz de Rayos X

La cantidad y la calidad se describen juntas en un concepto al que se le conoce como intensidad. Esta se define el producto de la cantidad y de la calidad por la unidad del área por la unidad del tiempo de exposición (3).

$$Intensidad = \frac{(No. de fotones) \times (Energía de cada fotón)}{(Área) \times Tasa de exposición}$$

Existen diversos factores que afectan a la intensidad del haz de Rayos X: pico de voltaje, miliamperaje, la distancia, y el tiempo de exposición (6).

1.7.1. Pico de voltaje

El pico de voltaje (kVp) controla la energía penetrante del haz de rayos X al regular la velocidad a la que los electrones viajan desde el cátodo hasta el ánodo (3).

1.7.2. Miliamperaje

El miliamperaje (mA) se encarga de controlar la energía penetrante del haz de rayos X al regular la cantidad de electrones producidos en el tubo y, por ende, el número de rayos X emitidos (3).

1.7.3. Tiempo de exposición

Como el mA, el tiempo de exposición afecta al número de rayos X producidos. Si existe un mayor tiempo de exposición se producirá mayor cantidad de rayos X, y un mayor tiempo de exposición produce rayos X más intensos (3).

1.7.4. Distancia

La distancia que recorren los rayos X afectan la intensidad del haz ya que se debe considerar los siguientes puntos:

- Distancia al objetivo-superficie: la distancia de la fuente a la piel del paciente.
- Distancia del objetivo-objeto: la distancia de la fuente de radiación al objeto.
- Distancia del objeto-receptor: la distancia de la fuente de radiación al receptor (3).

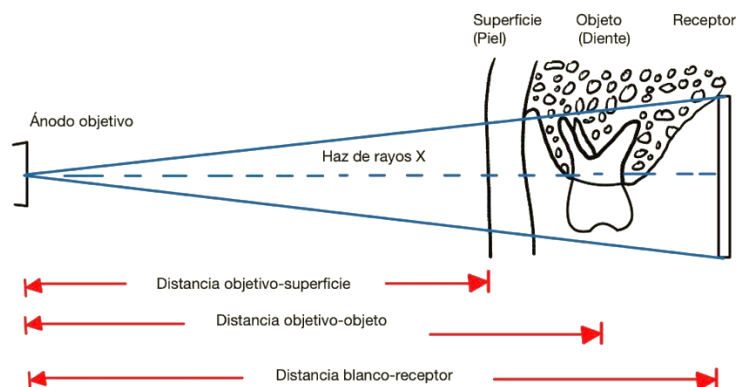


Figura 7. Distancia Fuente: Elaboración propia

1.7.5. Ley del cuadrado inverso

“La intensidad de la radiación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente de radiación ” (1)

Cuando existe un aumento en la distancia de fuente-al receptor, la intensidad del haz disminuye. Por ejemplo, cuando la longitud del DIP se cambia de 8 a 16 pulgadas, se crea una doble cantidad en la distancia produciendo que el haz resultante sea un cuarto de su intensidad (3).

La siguiente formula se utiliza para calcular la ley del cuadrado inverso.

$$\frac{\textit{Intensidad original}}{\textit{Nueva distancia}^2} = \frac{\textit{Nueva intensidad}}{\textit{Distancia original}^2}$$

Ejemplo práctico:

Si la longitud del DIP se cambia de 9 pulgadas a 17 pulgadas, ¿cómo este aumento en distancia entre la fuente-al-receptor afecta a la intensidad del haz?

$$\frac{1}{x} = \frac{17^2}{9^2}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{289}{81}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{3,56}{1}$$

$$x = \frac{1}{3,56}$$

Según esta fórmula, si la distancia de la fuente al receptor se duplica, es decir, se cambia de 8 a 16 pulgadas (asumiendo que el pico de kV y mA se mantienen constantes), la intensidad del haz de rayos X se reducirá a la cuarta parte de su intensidad original (3).

Es importante tener en cuenta que la intensidad de la radiación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (3).

Referencias Bibliográficas

1. Iannucci JM, Howerton LJ. Radiografía Dental - Principios y técnicas. AMOLCA ed. Cruz GS, editor. New York: Amolca ; 2013.
2. Whaites E, Drage N. Fundamentos de radiología dental. Elsevier ed. Rodríguez AIT, editor. Barcelona - España : Elsevier; 2021.
3. Guzmán Zuluaga CL, Contreras Escobar CA, Rabanal Vera CP. Radiología clínica oral y maxilofacial. Amolca ed. M GSC, editor. Santiago de Chile : Amolca ; 2019.
4. Ramirez Velasquez MdC, Molina Barahona RM, Domínguez Quinteros DA. Alejando el umbral del desequilibrio ambiental. Seis aportes al debate. ABYA-YALA ed. Vázquez TVyE, editor. Cuenca -Ecuador : ABYA-YALA; 2021.

5. Ausbruch Moreno CJ. Manual práctico de Tecnología radiológica dental y maxilofacial. Ana Laura Saucedo ed. Bellante V, editor. Colombia: Ciculo Latino Austral; 2009.
6. White SC, Pharoah MJ. Radiología oral - Principios e Interpretación. Elsevier Science ed. Bascones A, editor. Madrid - España: Elsevier Science; 2014.
7. Sansare K, Khanna V, Karjodkar F. Early victims of X-rays: a tribute and current perception. Dentomaxillofacial Radiology 2011;40(2):123-25. 2011; 40(2).Doi: [10.1259/dmfr/73488299](https://doi.org/10.1259/dmfr/73488299)
8. Horner K, Islam M, Flygare L, Tsiklakis K, Whaites E. Basic principles for use of dental cone beam computed tomography: consensus guidelines of the European Academy of Dental and Maxillofacial Radiology. Dentomaxillofacial Radiology. 2009; 38(4).
9. Velázquez M, Pombo M, Unzué L. Exposición de las cardiólogas intervencionistas a radiaciones ionizantes durante el embarazo. ¿Realmente representa un riesgo para el feto? Revista Española de Cardiología. 2017; 70(07). Doi: [10.24875/RECIC.M21000235](https://doi.org/10.24875/RECIC.M21000235)
10. Ramos O, Villarreal M. Disminución de la dosis de radiación en el radiodiagnóstico. Revista chilena de radiología. 2013; 19(1).Doi: [/10.4067/S0717-93082013000100003](https://doi.org/10.4067/S0717-93082013000100003)
11. Watanabe H, Noto K, Shohji T. A new shielding calculation method for X-ray computed tomography regarding scattered radiation. Radiological Physics and Technology. 2017; 10(2). Doi: [10.1007/s12194-016-0387-9](https://doi.org/10.1007/s12194-016-0387-9)

12. Kang K. History and organizations for radiological protection. Journal of Korean medical science. 2016; 31(1). Doi: [10.3346/jkms.2016.31.S1.S4](https://doi.org/10.3346/jkms.2016.31.S1.S4)
13. Lee C, Lee SS, Kim JE. A dose monitoring system for dental radiography. Imaging science in dentistry. 2016; 46(2). Doi: [10.5624/isd.2016.46.2.103](https://doi.org/10.5624/isd.2016.46.2.103)
14. Hall E, Giaccia A. Radiobiology for the radiologist. Lippincott Williams & Wilkins. 2006; 6.
15. Henriques S. A new way of thinking about patient radiation exposure. International Atomic Energy Agency. 2013.
16. Praveen B, Shubhasini R, Bhanushree S, C S. Radiation in dental practice: awareness, protection and recommendations. National Library of Medicine. 2013 Enero ; 14(1).
17. Ubeda C, Nocetti D, Aragón M. Seguridad y Protección Radiológica en Procedimientos Imagenológicos Dentales. International Journal Odontostomatology. 2018; 12(3).
18. Rodriguez R. La Técnica radiográfica dental para obtener una radiografía diagnóstica. 2014.



Autorización de publicación en el repositorio institucional

Paula Doménica Polo Encalada portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0105879985**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **Capítulo I : Historia de la Radiología Dental y Maxilofacial** del libro **“Rompiendo mitos de la Radiología Dental y Maxilofacial”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de Agosto de 2023

F: 

Paula Doménica Polo Encalada

C.I. 0105879985