



**CURSO:
PROTECCION RADIOLOGICA**

**MODULO 1:
CARACTERISTICAS, EFECTOS, SEGURIDAD,
VIGILANCIA Y CONTROL RADIOLOGICO**

Tabla de contenido

INTRODUCCION.....	3
1.- CARACTERISTICAS DE LA RADIOACTIVIDAD.....	5
1.1.- Estructura de la materia.	5
1.2.- Historia de los modelos	5
1.4.- Modelo atómico moderno.....	8
1.5.- Radiación Natural.....	9
1.6.- Tipos de Radiaciones:	11
1.6.1.- Radiaciones NO Ionizantes.....	11
1.6.2.- Radiaciones IONIZANTES	11
1.7.- Rayos	12
2.- EFECTOS BIOLÓGICOS POR RADIACIONES IONIZANTES.....	16
2.1.- Promedio de dosis absorbida por órgano en diferentes exámenes en Rx diagnóstico	16
2.1.1.- Efectos biológicos por las radiaciones ionizantes:.....	17
2.1.2.- Tipos de irradiación asociadas a las personas:	18
3.- SEGURIDAD, VIGILANCIA Y CONTROL RADIOLÓGICO.....	19
3.1.- Trabajadores Expuestos	19
3.2.- Límites de dosis para trabajadores expuestos.	20
3.3.- Protección especial durante el embarazo y la lactancia.	21

INTRODUCCION

El ser humano y todos los organismos vivos y materia inerte en el planeta han estado expuestos a las radiaciones ionizantes desde los orígenes, por tanto, es consustancial a la vida misma de los organismos.

Con el avance del conocimiento y el desarrollo tecnológico, el ser humano ha modificado la cantidad de radiación que recibe la población, al introducir procesos que generan radiaciones artificiales, es ampliamente utilizada en la industria y la medicina; entre todas estas prácticas que involucran radiaciones ionizantes, la aplicación en el campo de la salud, es la responsable de la mayor contribución de la exposición de la población, constituyendo una actividad trascendental bvcn la salud ocupacional de los funcionarios de dicha área.

Por tal motivo, organismos internacionales como la Comisión Internacional de Protección Radiológica, la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Organismo Internacional de Energía Atómica, realizan un trabajo colaborativo en la propuesta de recomendaciones y normas básicas (NTB) que sirvan de referencia, permitiendo una aplicación óptima de las técnicas radiológicas, enfocadas en garantizar la eficacia y eficiencia del proceso, y a la vez, reduciendo al mínimo los riesgos de exposición de usuarios y funcionarios operadores.

El curso abordará los tópicos sobre protección radiológica mínimos que deben conocer y manejar los trabajadores que se desempeñarán en instalaciones radioactivas, de acuerdo a la reglamentación chilena, entre los requisitos exigidos para el desempeño licenciado en tales instalaciones, está la aprobación de un curso sobre protección radiológica.

Para la implementación de estas recomendaciones, el Comité Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) recomiendan la aplicación de tres principios básicos:

JUSTIFICACIÓN

LIMITACIÓN DE DOSIS

OPTIMIZACION DE LA PRACTICA

Estos principios son aceptados por la comunidad internacional como los requerimientos básicos para la seguridad radiológica. Y hacen referencia al siguiente proceso; la **JUSTIFICACIÓN** es el primer paso en la protección radiológica. Se acepta que una exposición en el área de la Salud, no se justifica, sin una indicación clínica válida basada en un análisis riesgo beneficio, a fin que todo procedimiento resulte un beneficio para el paciente. Una vez justificada la práctica, la misma debe ser **OPTIMIZADA**, es decir, que la dosis debe ser tan baja como razonablemente posible, consistente con la obtención de una adecuada calidad de imagen. En esta área es donde existen considerables perspectivas asociadas a la reducción de las dosis.

Las Normas Básicas de Seguridad (NBS) y el Comité Internacional de Protección Radiológica recomiendan el uso de guías con niveles orientativos y/o de referencia de dosis en las diferentes prácticas que se desarrollan en el campo de la salud, como una ayuda para la optimización de la protección en las exposiciones médicas y odontológicas.

Los niveles de referencia son un indicador de la dosis en una buena práctica, para exámenes donde se utilizan rayos X. Los límites de dosis primarios establecidos en Chile para los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, se establecen en el D.S. N° 03/1985 “Reglamento de Protección Radiológica”, y equivalen a 5 rem/año (50 mSv/año) para cuerpo total.

Existe la necesidad de evaluar la situación de la optimización y protección en radiodiagnóstico, identificando los puntos donde la acción es necesaria, y documentar la mejora después de las acciones correctivas aplicadas.

1.- CARACTERISTICAS DE LA RADIOACTIVIDAD

Las radiaciones están presentes en toda la humanidad, son parte de la vida. Podemos encontrar distintos tipos de radiaciones de acuerdo a su naturaleza y también a distintas fuentes que las generan de manera natural o artificial (antropogénicas).

Toda radiación está relacionada con procesos de intercambio de energía, tal como lo planteó Einstein a través de la insoluble relación entre materia y energía.

1.1.- Estructura de la materia.

Para comenzar, entenderemos por estructura de la materia a la arquitectura de sus partes, en otras palabras, como se ordenan y como están unidos en lo que hoy conocemos como moléculas y átomos.

1.2.- Historia de los modelos

John Dalton, utilizó dos leyes fundamentales de las combinaciones química, la “Ley de conservación de la masa” que indica que la masa total de las sustancias presentes después de una reacción química es la misma que la masa total de las sustancias antes de la reacción) y la “Ley de proporciones constantes”, que refiere que todas las muestras de un compuesto tienen la misma composición, es decir, las mismas proporciones en masa de los elementos constituyentes) como base de una teoría atómica.

En resumen la teoría atómica de la materia de Dalton se resume en lo siguiente:

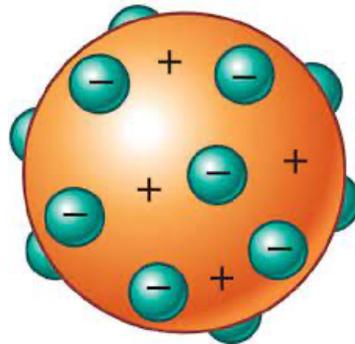
- Cada elemento químico se compone de partículas diminutas e indestructibles denominadas átomos. Los átomos no pueden crearse ni destruirse durante una reacción química.
- Todos los átomos de un elemento son semejantes en masa (peso) y otras propiedades, pero los átomos de un elemento son diferentes de los del resto de los elementos.
- En cada uno de sus compuestos, los diferentes elementos se combinan en una proporción numérica sencilla: por ejemplo, un átomo de A con un átomo de B (AB), o un átomo de A con dos átomos de B (AB₂)

Los postulados de Dalton son los siguientes:

- La materia está formada por partículas muy pequeñas llamadas átomos, que son indivisibles y no se pueden destruir.
- Los átomos de un mismo elemento son iguales entre sí, tienen su propio peso y cualidades propias. Los átomos de los diferentes elementos tienen pesos diferentes.
- Los átomos permanecen sin división, aun cuando se combinen en las relaciones químicas.
- Los átomos, al combinarse para formar compuesto, guardan relaciones simples.
- Los átomos de elementos diferentes se pueden combinar en proporciones distintas y formar más de un compuesto.
- Los compuestos químicos se forman al unirse átomos de dos o más elementos distintos.

Hacia 1898 JJ Thomson había descubierto el electrón, por tanto, propuso un modelo físico de átomo conocido como pudín con pasas. El átomo como él lo describía era una bola donde se equilibraban las cargas positivas y negativas de tal forma que hicieran neutral el conjunto. Sin embargo, esta teoría tuvo una corta duración, debido a un experimento que echó por tierra la propuesta arquitectónica de las cargas de Thomson.

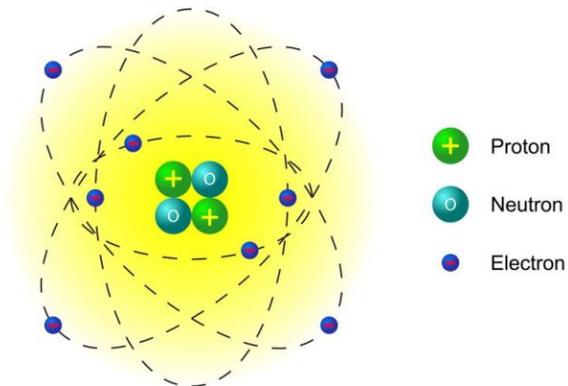
Modelo atómico de Thomson



En 1911 Ernest Rutherford introduce el modelo planetario, el cual es el más utilizado al día de hoy, el cual considera que el átomo se divide en:

- Un núcleo central, que contiene protones y neutrones, y por tanto, allí se concentra toda la carga positiva y casi toda la masa del átomo.
- Una envoltura, formada por electrones, que giran alrededor del núcleo en orbitas circulares, de forma similar a como los planetas giran en torno al sol.

Modelo atómico de Rutherford

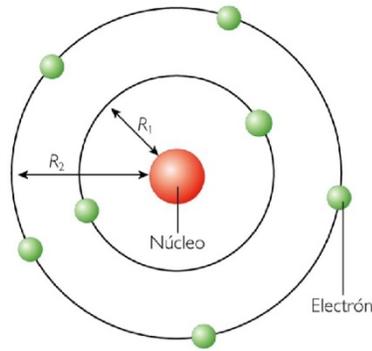


A inicios del siglo XX Niels Bohr se basó en el átomo de hidrogeno para proponer un modelo que explicara la estabilidad del átomo y los espectros de emisión y absorción discretos que se observan en los gases.

Describió el átomo de hidrogeno con un protón en el núcleo y girando a su alrededor un electrón. Este modelo parte conceptualmente del modelo de Rutherford y de las incipientes ideas sobre cuantización que habían surgido unos años antes con las investigaciones de Max Planck y Albert Einstein.

En este modelo los electrones giran en orbitas circulares alrededor del núcleo, cuando la órbita de menor energía posible, o la órbita as cercana posible al núcleo. Bohr supuso que los electrones solamente se podían mover en orbitas específicas, cada una de las cuales caracterizada por su nivel energético. Cada orbita puede entonces identificarse mediante un numero entero n que toma valores desde 1 en adelante. Este número " n " recibe el nombre de Número Cuántico Principal. Supuso además que el momento angular de cada electrón estaba cuantizado y solo podía variar en fracciones enteras de la constante de Planck. De acuerdo al número cuántico principal calculo las distancias a las cuales se hallaba del núcleo cada una de las orbitas permitidas en el átomo de hidrogeno.

Modelo atómico de Bohr



1.4.- Modelo atómico moderno

Actualmente el método moderno considera que el átomo consiste de un núcleo muy pequeño, en el cual se concentran toda la carga positiva y la mayor parte de la masa, y de una nube de electrones cargados negativamente que rodea al núcleo. Se basa en la teoría de Mecánica cuántica la que señala que la energía debido a la transición electrónica se propaga en “cuantos” de luz. Los electrones se encontrarían en una zona periférica del núcleo ocupando un espacio dado por la probabilidad de encontrarlos.

Núcleo: Esta formado por los protones (+) y neutrones (o)

Periferia: conformada por los electrones

La nomenclatura de los diversos elementos atómicos se basa en la siguiente representación



X Símbolo del elemento

A Número másico ($A = p + n$)

Z Número atómico ($Z = p$)

- **Número atómico:** Se simboliza con la letra **Z** y representa el N° de protones del núcleo. Este caracteriza al elemento químico, sus propiedades físicas y químicas específicas.
- El número de **neutrones** de un átomo se simboliza con la letra **N**.
- **Número másico:** Se simboliza con la letra **A** y representa el número total de nucleones, es decir, el número de protones y neutrones de un átomo ($A = Z + N$). Este caracteriza el peso, la masa del átomo. Teniendo en cuenta lo antes expresado, el núcleo atómico se representa: $Z X$.

- **Núclido o nucleido:** Caracteriza una especie atómica teniendo en cuenta el número de protones y neutrones. Cuando un núclido o nucleido emite radiaciones ionizantes, se denomina radionúclido o radionucleido.

Los átomos, según las características de su núcleo pueden ser:

- **Isótopos:** Son núclidos de átomos con igual Z pero con diferente A. Ejemplos: Iodo¹²⁶, Iodo¹³¹. Estos tienen las mismas propiedades químicas y pertenecen al mismo elemento atómico.
- Los isótopos a su vez pueden ser, estables, si no emiten radiaciones ionizantes y radiactivos, si emiten radiaciones.
- **Isóbaros:** Son átomos con el mismo A pero con diferente Z. Estos son núclidos de distintos elementos por lo que difieren en sus propiedades físico químicas.
- **Isótonos:** Son átomos que coinciden en tener igual número de neutrones, pero con diferentes Z y A. Al ser núclidos de distintos elementos, sus propiedades físicas químicas son también diferentes.

Considerando los conceptos abarcados previamente, podemos abordar la radioactividad. Este fenómeno fue descubierto por Antoine Henri Becquerel en 1896 y por los franceses Marie y Pierre Curie.

La radioactividad es un fenómeno de emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas nucleares. Cualquier núcleo es llamado radioactivo si este, cambia su estructura emitiendo energía en forma de rayos GAMMA o alguna partícula nuclear como las partículas alfa, beta o neutrones. Es un término utilizado para describir la desintegración de los átomos. Algunos elementos naturales son inestables, por lo tanto sus núcleos se desintegran o descomponen, liberando así la energía en forma de radiación. La desintegración radiactiva se expresa en unidades llamadas BECQUERELIOS.

Un BECQUEREL es igual a
una desintegración por

1.5.- Radiación Natural

Los materiales radiactivos son parte integrante de la tierra desde sus orígenes, cada átomo que tenga una pequeña inestabilidad en su núcleo como para emitir partículas o radiación electromagnética se puede considerar radiactivo. Por tanto, la radiación natural la que se produce sin la intervención del hombre y estará presente en todas las actividades de la vida, es más, el propio ser humano es algo radiactivo.

La radioactividad, es un proceso nuclear, donde de manera continua y por un tiempo definido, dado por el elemento en cuestión, hay emisión de radiaciones ionizantes. Lo anterior ocurre como consecuencia de la transformación de átomos inestables a otros de mayor estabilidad. Estos núclidos radioactivos son llamados radionúclidos o radionucleidos y pueden ser naturales (presentes en la naturaleza) o artificiales (producidos por el hombre).

Según el radionúclido, la emisión de radiaciones ionizantes, puede ser de horas como es el caso del Tecnecio99, días como es el del Iodo131, años como del Cesio137, de cientos o miles de años como es el del Radio226, Uranio238, etc. Cada radionúclido tiene bien definido su período de semidesintegración, basado en una expresión matemática que refleja su decaimiento radiactivo.

Hay dos contribuyentes fundamentales a las exposiciones a la radiación natural:

- Las partículas de alta energía de los rayos cósmicos que inciden en la atmósfera terrestre.
- Los radionucleidos de la corteza terrestre presentes en todo el medio ambiente, incluyendo el propio cuerpo humano.

Muchas exposiciones a fuentes de radiación natural se modifican por la acción humana. En particular, se liberan al medio ambiente radionucleidos naturales en el procesado de mineral y en actividades como la producción de fertilizantes fosfatados y la utilización de combustibles fósiles, provocando incremento de las exposiciones a esta radiación natural.

Existen tres fuentes naturales de exposición a las radiaciones ionizantes:

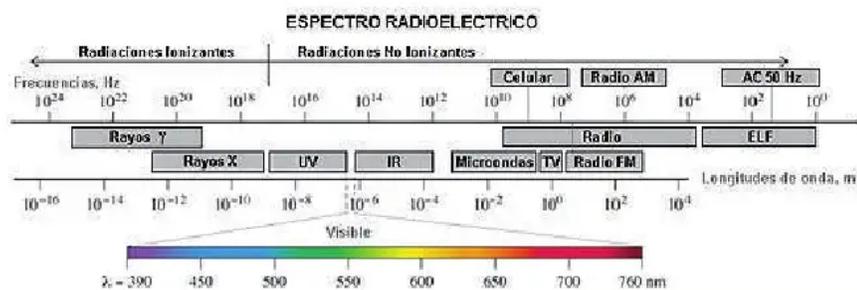
- Radiación cósmica: es radiación ionizante que consiste en partículas de alta energía, primariamente núcleos de átomos, de origen más allá de la Tierra, y partículas generadas por la interacción con la atmósfera. La radiación cósmica primaria proviene del espacio y del Sol.
- Radionucleidos cosmogónicos: son radionucleidos generados por las reacciones nucleares durante la interacción entre los rayos cósmicos de alta energía y los núcleos estables de la atmósfera. Uno de los radionucleidos cosmogónicos conocidos es carbono-14.
- Radionucleidos primordiales: os radionucleidos primordiales son residuos del Big Bang, de fuentes cosmogónicas y de antiguas explosiones de supernovas que ocurrieron antes de la formación del sistema solar. El bismuto, el torio, el uranio y el plutonio son radionucleidos primordiales porque tienen vidas medias lo suficientemente largas como para que todavía se encuentren en la Tierra. El potasio-40 también pertenece a los nucleidos primordiales.



1.6.- Tipos de Radiaciones:

El término radiación es muy amplio e incluye cosas tales como la luz y las ondas de radio. En nuestro contexto se refiere a radiación ionizante, lo que significa debido a que dicha radiación pasa a través de la materia, puede afectar que se cargue eléctricamente o que genere iones. En los tejidos vivos, los iones eléctricos producidos pueden afectar a los procesos biológicos normales, ya sea produciendo destrucción del tejido o modificando estructuras del ADN.

La radiación puede emitirse mediante partículas u ondas y lo hace en forma de onda electromagnética con parámetros característicos como la longitud, frecuencia y energía.



1.6.1.- Radiaciones NO Ionizantes

Tipo de radiación de baja energía que no tiene suficiente energía como para eliminar un electrón (partícula negativa) de un átomo o molécula. La radiación no ionizante incluye la luz visible, infrarrojo y ultravioleta; las microondas; las ondas de radio y la energía de radiofrecuencia de los teléfonos móviles.

1.6.2.- Radiaciones IONIZANTES

Son aquellas radiaciones de naturaleza electromagnética o corpusculares, con energía capaz de causar por un mecanismo directo o indirecto, excitación o ionización en los átomos de la materia con la que interactúa.

Se entiende por **ionización**, al proceso o fenómeno en el cual se generan pares de iones, que en líneas generales, no son más que átomos cargados eléctricamente por la pérdida o ganancia de electrones.

Se entiende por **excitación**, al fenómeno mediante el cual un electrón de un átomo, salta de una órbita a otra de distinto nivel energético, regresando inmediatamente después al nivel original, emitiendo energía durante el transcurso de este proceso.

Los principales tipos de radiaciones ionizantes son:

Radiaciones corpusculares ionizantes		
Partículas Alfa (α).	Partículas Beta (b).	Radiación neutrónica.

Radiaciones electromagnéticas ionizantes	
Rayos X.	Rayos Gamma (c).

Cada una de ellas tienen sus características particulares e interactúan con la materia de diferentes maneras; no se van a detallar por encontrarse fuera de los objetivos de este curso, pero es importante destacar, que todo este grupo de radiaciones tiene como denominador común, que cuando interactúan con los átomos de cualquier materia, pueden producir en éstos, el fenómeno de excitación y/o ionización.

De manera general, las radiaciones corpusculares tienen muy poco alcance o nivel de penetración, pero poseen un gran poder de ionización; lo contrario sucede con los rayos X, que tienen menos poder de ionización, pero tienen un gran alcance y nivel de penetración. Los neutrones tienen a su vez, un gran alcance y también un gran nivel de ionización.

De los tipos de radiaciones ionizantes señalados, los Rx se pueden generar por un mecanismo eléctrico como es el caso del tubo generador de Rx, pero el resto, solamente se pueden generar por un mecanismo radiactivo o nuclear, es decir, solo pueden obtenerse a través de fuentes radiactivas y/o por reacciones nucleares.

1.7.- Rayos

Los Rayos X fueron descubiertos por un científico alemán, Wilhelm Conrad Roentgen en 11/1895, registrando éste hallazgo por medio de una publicación que la tituló “una nueva especie de Rayos”; posteriormente, en enero de 1896, en Inglaterra, el Dr. John F. Hall Edwards hizo las primeras radiografías clínicas mostrando una aguja enterrada en la mano de una paciente. A partir de entonces, su uso se extendió por todo el mundo y la incorporación de estos equipos ha ido en un aumento considerable por los múltiples beneficios que esta actividad reporta en la práctica médica y odontológica; es obvio, que se han incorporando a la vez, múltiples modificaciones y evoluciones en los tubos generadores de Rx y en los sistemas de registros con vista a lograr una mayor calidad en la imagen radiológica, con una menor exposición a las radiaciones.

Un equipo generador de Rx con fines diagnóstico consta esencialmente de:

- Un tubo generador de Rx.
- Un transformador o generador de alto voltaje.
- Un panel de mando y controles (panel de comandos).
- Dispositivos extras, camilla, stativo, etc.

En los equipos hay tres principales indicadores o variables que nos expresan las características esenciales de la calidad y formación del haz de rayos X, así como del tiempo por el que estos, se producen.

Estos son:

- *Kilovoltaje (Kv)*: Expresa la potencia y el nivel energético del haz de fotones de rayos X; a mayor Kv, mayor energía y mayor nivel de penetración del haz.
- *Miliamperaje (mA)*: expresa “la cantidad” de haces que se forman, es decir, un aumento de la corriente provoca un aumento del número de fotones de rayos X por unidad de área y tiempo.
- *Tiempo (t)*: expresa el tiempo de emisión del haz de radiación; a mayor tiempo, mayor exposición.

Los equipos convencionales de radiodiagnóstico médico operan normalmente en un rango de potencial de voltaje entre los 30 a 150 Kv, con una corriente de tubo entre los 10 y 20 a 500 o más mA y un tiempo de emisión de rayos variable según el tipo de examen que se vaya a realizar, por lo general, de fracciones (centésimas) a segundos. Específicamente en *radiología dental*, algunos equipos convencionales operan con un Kv fijo, encontrándose en el mercado con Kv entre los 50 a 70 Kv, con un amperaje también fijo entre los 5 a 10 mA y es la variable tiempo, la que el operador puede cambiar; como promedio, las técnicas que más se utilizan oscilan entre los 0,1 a 2 segundos con una distancia foco paciente entre 18 a 23 cms.; en este medio, una técnica muy empleada es la de 3 segs con 70 Kv. Señalamos que los ortopantomógrafos (equipos panorámicos) de reciente incorporación en la clínica dental, son de características similares a los de Rx diagnóstico convencional, o sea, pueden variar sus distintos indicadores (Kv, mA) en cambio el tiempo de rotación es fijo, salvo programas infantiles que tienen un tiempo de giro menor).

Un tubo de Rx consta principalmente de una ampolla de vidrio Pirex (resistente al calor) al vacío en cuyo interior se encuentran dos elementos con una separación entre ellos que son los electrodos, el cátodo (electrodo negativo) y el ánodo (electrodo positivo). En el cátodo se encuentra el filamento, donde, durante la activación y disparo del equipo, se producen por una emisión termoiónica, una corriente de electrones que se proyecta a grandes velocidades al electrodo positivo (ánodo). Por tal motivo tiene que estar hecho de un material con un punto de fusión elevado, por ejemplo, el tungsteno; por lo general, los equipos de Rx de uso médico tienen dos filamentos, uno *fino* y otro *grueso*, dado por el diámetro de él y el uso que se quiera dar. El ánodo es llamado “blanco” y puede ser fijo (como el de los equipos de Rx dental convencional y portátiles) o rotatorio (como el de los equipos fijos de Rx de uso médico); es aquí donde inciden e impactan estos electrones producidos en el filamento del cátodo por la diferencia de potencial que se crea cuando se hace el disparo.

Esquema de un tubo de Rx

Los rayos X son producidos cuando se crea entre ambos electrodos, una diferencia de potencial eléctrica (de decenas a centenas de Kv) generándose así, una corriente electrónica (de algunos mA) entre el cátodo y el ánodo. Cuando estos electrones violentamente acelerados impactan en el ánodo, interactúan con sus átomos, desviándose o perdiendo velocidad por lo que se origina una liberación de energía, el 99 % en calor y el 1% de Rayos X por diversos mecanismos, el principal por el fenómeno de Bremstrahlung (radiación de frenado).

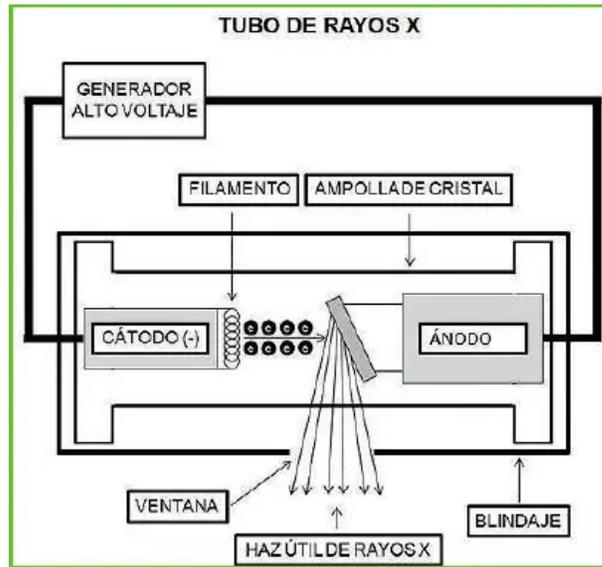
Por la cantidad de energía calorica que se produce, el “blanco” del ánodo también debe estar hecho de un material de alta fusión y conductividad térmica, por ejemplo, el tungsteno y el walframio; el molibdeno, también es muy utilizado en los equipos de mamografía; a su vez, éste lo asocian o lo incluyen dentro de una gran masa de cobre que actúa como recipiente y disipador del calor. En los tubos de mayor carga y potencia, se utiliza además un medio refrigerante como el aire, agua o aceite (este último el más utilizado) que se ubica entre el tubo y su carcasa o cabezote de plomo.

El haz de fotones (rayos X) que se produce tiene un espectro con energías que oscila desde casi 0 hasta el valor máximo de voltaje aplicado al tubo. No todos estos rayos son útiles para fines diagnósticos, por eso se hace necesario absorber toda la radiación secundaria que no contribuya a la formación de la imagen radiográfica, ya que ésta incide en una dosis innecesaria e injustificada para los operadores y pacientes. Para esto, existe una *filtración inherente* que depende de la absorción del propio vidrio de la ampolla, del refrigerante, de la ventana de cristal de la coraza de plomo, la cual debe ser equivalente al menos de 0,5 mm de Al.

A lo anterior, se le agrega la *filtración añadida*, con el objetivo de disminuir al máximo posible la radiación secundaria no útil, por medio de un filtro que se coloca a la salida del haz primario en la “ventana” del tubo, de cobre o de aluminio (el más utilizado) cuyo espesor oscila desde los 0,5 mm para los equipos de Rx dental hasta 1,5 – 2,5 mm para los equipos de mayor potencia de radiología médica. Además, el tubo de rayos X se encierra dentro de una cúpula o cabezal construido de plomo con un espesor acorde a las características técnicas de él, evitando así, la salida al medio circundante de las radiaciones innecesarias. Por otra parte, para que el paciente sea irradiado solamente en el área de interés, el haz primario ya filtrado debe ser limitado (colimado) a través de diafragmas o colimadores luminosos.

En radiología dental convencional se utiliza los localizadores, dispositivos diseñados para “fijar” el área a estudiar, no tienen que ser de plomo; los actuales son cilíndricos de plástico con un tamaño (distancia tubo piel) que puede oscilar entre 15 a 18 cms con un diámetro no mayor de 6 cms como máximo. Los antiguos colimadores cónicos de plomo están prohibidos, por la múltiple irradiación secundaria e innecesaria que producen (por reflexión del haz primario) con el subsiguiente aumento de la dosis al paciente.

Esquema de un tubo de Rx con el cabezote, colimador, etc.



2.- EFECTOS BIOLÓGICOS POR RADIACIONES IONIZANTES

Recordemos que el ser humano ha estado expuesto siempre a las radiaciones ionizantes naturales. Como por ejemplo:

DIVERSAS FUENTES DE EXPOSICIÓN A LAS RADIACIONES PARA EL HOMBRE

FUENTE	Mrem/ año (mSv/año)
Atmosfera (rayos cósmicos)	45 (0,45)
Suelo	15 (0,15)
Agua, alimentos, aire	25 (0,25)
Radón y productos de desintegración	128 (1.28)
Televisión	< 10 (< 0,1)
Dosis anual trabajadores energía nuclear en u.e.	4 (0,04)
Viajes aéreos (ida y vuelta de Londres a new york)	1 (0,01)
Vecindad a una planta nuclear	20 o más (0,2 o más)
Vivienda diagnóstico por rx con paredes de ladrillo	50 100 (0,5 1)
Vivienda con paredes de concreto	70 100 (0,7 1)
Vivienda con paredes de madera	30 50 (0,3 0)

Fuente: uncear, “ ionizing, radiation sources and biological effects”

2.1.- Promedio de dosis absorbida por órgano en diferentes exámenes en Rx diagnóstico

Procedimiento diagnóstico	Dosis efectiva (mSv)	N° Rx de tórax	Radiación natural
Radiología			
Tórax	0,02	1.0	3 días
Extremidades	0,01	0,5	1.5 días
Cráneo	0,07	3,5	11 días
Columna Dorsal	0,70	35	4 meses
Columna Lumbar	1,30	65	7 meses
Abdomen	1.00	50	6 meses
Pelvis	0,70	35	4 meses
Urografía	2.50	125	14 meses
Rx ÉED	3.00	150	16 meses
Enema opaco	7.00	350	3.2 años
TC de cráneo	2,30	115	1 año
TC de tórax	8.00	400	3,6 años
TC de abdomen	10.00	500	4,5 años
Cintigrafía			
Renal	1.00	50	6 meses
Tiroidea	1.00	50	6 meses
Oseo	4.00	200	1,8 años

Nota: Se usa la radiología de tórax como referencia por ser más frecuente y por requerir baja dosis de radiación.

2.1.1.- Efectos biológicos por las radiaciones ionizantes:

Aspectos generales:

El efecto dañino a la salud por las radiaciones ionizantes depende, de la dosis absorbida, de su magnitud, distribución y del tiempo de exposición, pudiendo ser ésta de forma aguda, durante breves segundos o minutos (Ejs., en radioterapia, accidentes, etc.) o crónica, continua o intermitente, a lo largo de meses o años (Ej., la exposición ocupacional).

El proceso de excitación y/o ionización en los tejidos suponen necesariamente, cambios en los átomos y moléculas de las células que las componen, aunque solo sea, de manera transitoria. Si se producen daños celulares y no se reparan adecuadamente, puede ocurrir que las células afectadas mueran o que su reproducción se vea impedida, o bien, que se origine una célula viable modificada; todos estos cambios pueden tener serias implicaciones en su conjunto para el organismo.

Si la pérdida del número de células de un órgano o tejido es lo suficientemente elevada, se traducirá en un daño susceptible de ser clínicamente observado, con pérdida del funcionamiento del tejido u órgano afectado. La probabilidad de que se produzcan tales daños oscila, desde nulo a dosis pequeñas a un aumento paulatino por encima de un determinado umbral de dosis, hasta poder llegar a una proporción de un 100% en dependencia de la dosis recibida. Por encima del umbral aumentará, de igual manera, la gravedad del daño con el incremento de la dosis. Este tipo de efecto era conocido con anterioridad, como “*efecto no estocástico*”, actualmente, según las últimas recomendaciones de la ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica) en su Pub. N° 60 de 1990 y posteriormente en las del 2007, se denomina “**efecto determinístico**”. Estos son **dosis dependiente**.

El resultado puede ser muy diferente si en vez de producirse la muerte de la célula irradiada, ésta queda alterada. A pesar de la existencia de mecanismos de defensa altamente efectivos, un grupo de células resultantes de la reproducción de una célula somática viable, pero modificada por una irradiación, puede, tras un período de latencia variable y prolongado, dar lugar a la aparición de una condición maligna, un cáncer.

Si el daño se produce en una célula cuya función es transmitir información genética a generaciones posteriores (células germinales), el daño se expresará, entonces, en la descendencia de la persona expuesta con alteraciones genéticas. La probabilidad de aparición de estos efectos, cuya gravedad es **independiente de la dosis**, no existiendo un umbral, va en aumento en la medida que la exposición a las radiaciones ionizantes sea mayor. Estos efectos se denominan “**efectos estocásticos**”, es decir, son de naturaleza aleatoria, probabilística, **dosis independiente**.

2.1.2.- Tipos de irradiación asociadas a las personas:

- **Irradiación externa:** Es cuando el individuo se irradia a partir de una fuente emisora que se encuentra en el exterior, fuera del sujeto que la recibe.
- **Irradiación interna o contaminación:** Es cuando la fuente emisora se encuentra en el sujeto. Si está en la superficie (piel y faneras) se produce una **contaminación superficial o externa**. Si la fuente se encuentra en el interior del organismo, entonces se denomina una contaminación interna.

En la contaminación siempre van a estar implicadas fuentes radiactivas, no así en la irradiación externa, donde pueden ser originados por éstas, pero también por otros tipos de fuentes como son los generadores de Rx. Por lo tanto y por principio básico, en la contaminación, el

órgano o tejido del individuo afectado va a estar sometido a una exposición a las radiaciones ionizantes durante todo el tiempo que la fuente permanezca en el organismo de manera activa o hasta que se logre su eliminación o extracción, por lo que una contaminación radiactiva siempre va a constituir una urgencia médica, ya que mientras más temprano se logre extraer el elemento contaminante radiactivo, menor va a ser la dosis que reciba la persona y por ende, menor el daño. En la irradiación externa, la urgencia va a ser dosimétrica, no vamos a poder influir en la dosis total que recibe la persona; en este caso se hace necesario conocer la dosis a la que se expuso el sujeto para poder conocer, entonces, el cuadro clínico que desarrollará, los efectos que se presentaran y por ende, las medidas terapéuticas a implementar.

3.- SEGURIDAD, VIGILANCIA Y CONTROL RADIOLÓGICO

Por razones de seguridad, vigilancia y control radiológico, las personas que trabajan en las instalaciones con riesgo radiológico deben ser clasificadas en función de las condiciones en que realizan su trabajo, realizando la siguiente diferenciación:

TRABAJADORES EXPUESTOS

MIEMBROS DEL PÚBLICO

3.1.- Trabajadores Expuestos

Son personas que, por las circunstancias en que se desarrolla su trabajo, bien sea de modo habitual u ocasional, están sometidas a un riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes, siendo susceptibles de entrañar dosis superiores a alguno de los límites de dosis para miembros del público.

Los estudiantes y personas en formación, mayores de dieciocho años, que, durante sus estudios, se encuentren expuestos a radiaciones ionizantes, se consideran incluidos en esta categoría.

Los trabajadores expuestos se subdividen en dos categorías:

- **CATEGORÍA A:** Pertenecen a esta categoría, los que puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial, o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.
- **CATEGORÍA B:** Pertenecen a esta categoría, aquellos que es muy improbable que reciban dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial, o a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.

La condición de trabajador expuesto de **categoría A** exige obligatoriamente:

- Superar el reconocimiento médico de ingreso y los reconocimientos periódicos.
- Haber recibido formación en Protección Radiológica.
- Utilizar obligatoriamente dosímetro individual que mida la dosis externa, representativa de la totalidad del organismo siempre que realicen trabajos que supongan riesgos de exposición externa.
- Utilizar dosímetros adecuados en las partes potencialmente más afectadas, en el caso de riesgo de exposición parcial o no homogénea del organismo.
- Someterse a los controles dosimétricos pertinentes, en caso de existir riesgo de contaminación interna.

La condición de trabajador expuesto de **categoría B** exige obligatoriamente:

- Superar el reconocimiento médico establecido.
- Haber recibido formación en Protección Radiológica.
- Estar sometido a un sistema de vigilancia dosimétrica que garantice que las dosis recibidas son compatibles con su clasificación en categoría B.

A cada trabajador expuesto, tanto categoría A como B, le será abierto:

- Un protocolo médico individual, conteniendo los resultados del examen de salud previo a su incorporación a la instalación y los exámenes médicos anuales y ocasionales.
- Un historial dosimétrico individual, que, en el caso de personas de categoría A, debe contener como mínimo; las dosis mensuales, las dosis acumuladas en cada año oficial y las dosis acumuladas durante cada período de 5 años oficiales consecutivos. En el caso de personas de categoría B, las dosis anuales determinadas, o estimadas, a partir de los datos de la vigilancia radiológica de zonas.

De acuerdo con las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, en su publicación nº 73, la mayoría de las personas que trabajan con radiaciones ionizantes pueden clasificarse como trabajadores expuestos de categoría B.

Como orientación, se pueden considerar de categoría A las personas que trabajan próximas al haz de rayos X en Radiología intervencionista, vascular y cardiaca, los que administran y preparan dosis radiactivas en Medicina Nuclear, las asociadas con la preparación del tratamiento y el cuidado de pacientes en terapia metabólica, así como los que realizan estas funciones en Braquiterapia.

3.2.- Límites de dosis para trabajadores expuestos.

Los límites de dosis para los trabajadores expuestos son los siguientes:

- El límite de dosis efectiva será de 100 mSv durante todo período de cinco años oficiales consecutivos, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.
- Sin perjuicio de lo indicado en el apartado anterior:
- El límite de dosis equivalente para el cristalino es de 150 mSv por año oficial.
- El límite de dosis equivalente para la piel es de 500 mSv por año oficial. Dicho límite se aplica a la dosis promediada sobre cualquier superficie de un centímetro cuadrado, con independencia de la zona expuesta.
- El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos es de 500 mSv por año oficial.

3.3.- Protección especial durante el embarazo y la lactancia.

Tan pronto como una mujer embarazada informe de su embarazo, por escrito a las autoridades del establecimiento de salud, la protección del feto debe ser comparable a la de los miembros del público, y, por ello, las condiciones de trabajo deberán ser tales, que las dosis al feto desde la notificación del embarazo al final de la gestación no excedan de 1 mSv.

Este límite de dosis se aplica exclusivamente al feto, y no es directamente comparable con la dosis registrada en el dosímetro personal de la trabajadora embarazada. Por ello, a efectos prácticos y para exposición a radiación externa, se puede considerar que 1 mSv al feto es comparable a una dosis de 2 mSv en la superficie del abdomen.

La declaración de embarazo no implica que las mujeres gestantes tengan que evitar el trabajo en presencia de radiaciones o que deba prohibirse su acceso a zonas radiológicas. No obstante, las condiciones en que se realiza ese trabajo deben ser cuidadosamente evaluadas, de modo que se asegure la no superación del citado límite.

De acuerdo con esto, existen muchos puestos de trabajo compatibles con la situación de embarazo. Se excluyen aquellos de mayor riesgo potencial, como en Braquiterapia (técnicas de trabajo manual con las fuentes), algunos de Medicina Nuclear (cámara caliente y sala de administración de dosis) y en Radiodiagnóstico cuando haya que trabajar en presencia del haz de radiación. Como recomendación se procurará destinar a la mujer gestante a puestos con exposición mínima, compatible con la legislación.

Las mujeres en período de lactancia, no desempeñarán trabajos que supongan un riesgo significativo de contaminación interna.

BIBLIOGRAFÍA

1. Decreto N° 133 del 23 de agosto 1984. Reglamento sobre autorizaciones para instalaciones radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes, personal que se desempeña en ellas, u opere tales equipos y otras actividades afines.
2. Decreto N°3 de abril 1985. Reglamento de Protección Radiológica de Instalaciones Radiactivas.