

DL
09
T(1724)

**“NIVEL DE RADIACION DISPERSA DETECTADO EN AMBIENTES CONTIGUOS AL
APARATO DE RAYOS X EN CLINICAS DENTALES UBICADAS EN LA CIUDAD DE
GUATEMALA, Y CONOCIMIENTO SOBRE PROTECCION Y SEGURIDAD
RADIOLOGICA DE LOS OPERADORES REGISTRADOS EN EL
MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS HASTA EL AÑO 2002”**

TESIS PRESENTADA POR:

CARLOS ENRIQUE DIAZ MAYORGA

**Ante el Tribunal de la Facultad de Odontología de la Universidad de San
Carlos de Guatemala, que practicó el Examen General Público, previo a
optar al Título de:**

CIRUJANO DENTISTA

Guatemala, octubre de 2003

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Decano:	Dr. Carlos Alvarado Cerezo
Vocal Primero:	Dr. Manuel Miranda Ramírez
Vocal Segundo:	Dr. Alejandro Ruiz Ordóñez
Vocal Tercero:	Dr. César Mendizábal Girón
Vocal Cuarto:	Br. Ricardo Hernández Gaitán
Vocal Quinto:	Br. Roberto Wehncke Azurdia
Secretario:	Dr. Otto Raúl Torres Bolaños

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PÚBLICO

Decano:	Dr. Carlos Alvarado Cerezo
Vocal Primero:	Dr. César Mendizábal Girón
Vocal Segundo:	Dr. Sergio García Piloña
Vocal Tercero:	Dr. Manuel Miranda Ramírez
Secretario:	Dr. Otto Raúl Torres Bolaños

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Por ser el Señor de mi vida y que ha permitido que alcance mis metas.

A LA VIRGEN MARIA Y SAN JUAN DE LA CRUZ

Por interceder día y noche por mí ante el Señor.

A MIS PADRES

Dr. Rembert Joel Díaz Matamba y Dra. María Elena Mayorga de Díaz. Por ser siempre mi ejemplo a seguir.

A MI HERMANO

Dr. Rembert Estuardo Díaz Mayorga

A MIS ABUELITOS

Carlos Alberto Mayorga Herrera
Graciela Laura Santos Gutiérrez
Leocadio de Jesús Díaz
Martha Matamba de Díaz

A MIS TÍOS Y PRIMOS

A MIS AMIGOS

Allan Monterroso, Lic. Pedro Barrera, Lic. Eddie García y Dra. Silvia Castellanos.

DEDICO ESTA TESIS:

A: DIOS

A: LA SANTÍSIMA VIRGEN MARÍA

A: SAN JUAN DE LA CRUZ

A: GUATEMALA

A: MIS PADRES

A: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A: LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

AL: LICEO JAVIER

A: MIS CATEDRÁTICOS

A: TODAS LAS PERSONAS CON QUIENES HE PODIDO CONTAR EN
UN MOMENTO DETERMINADO, QUIENES NUNCA DUDARON EN
BRINDARME SU APOYO.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Tengo el honor de someter a vuestra consideración mi trabajo de tesis:
“NIVEL DE RADIACION DISPERSA DETECTADO EN AMBIENTES CONTIGUOS AL APARATO DE RAYOS X EN CLINICAS DENTALES UBICADAS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA Y CONOCIMIENTO SOBRE PROTECCION Y SEGURIDAD RADIOLOGICA DE LOS OPERADORES REGISTRADOS EN EL MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS HASTA EL AÑO 2002”, conforme lo demandan los estatutos de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo a optar al título de:

CIRUJANO DENTISTA

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que en alguna forma ayudaron a la elaboración de mi trabajo de tesis, en especial al Dr. Sergio García Piloña y Dr. Fernando Robles por su asesoría.

Y a vosotros distinguidos miembros del Honorable Tribunal Examinador, reciban mis más altas muestras de consideración y respeto.

INDICE

CONTENIDO	PÁGINA
SUMARIO	1
INTRODUCCIÓN	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
JUSTIFICACIÓN	8
REVISIÓN DE LITERATURA	10
OBJETIVOS	90
VARIABLES	91
METODOLOGÍA	92
PROCEDIMIENTO	93
RECURSOS	99
RESULTADOS	100
DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	124
CONCLUSIONES	131
RECOMENDACIONES	134
LIMITACIONES	135
ANEXOS	136
BIBLIOGRAFÍA	141

SUMARIO

Se determinó el nivel radiación dispersa detectado en ambientes contiguos al aparato de Rayos X en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala, así como el grado de conocimientos sobre protección y seguridad radiológica de los operadores registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002. Se seleccionó una muestra aleatoria con reemplazo de treinta y tres clínicas de las cuales los odontólogos consintieron participar en el estudio. Se realizó radiometría en el sitio donde se coloca el operador al accionar el aparato de Rayos X, así como donde se ubica el público en general, se inspeccionó los métodos de protección y seguridad radiológica, y posteriormente se evaluaron conocimientos referentes a éstos temas.

De los 33 aparatos de Rayos X de dichas clínicas el 21.21% estuvo integrado por tubos de Rayos X de marca Corix, seguida de un 18.18% de tubos de marca Siemens, la mayoría de estos aparatos presentaron una capacidad máxima de kilovoltaje entre el rango de 70 a 79 Kpv (kilovoltios) (45.45%), y un miliamperaje máximo que comprendía 8 aM (miliamperios) (33.33%); así como un tiempo límite de 4 segundos de exposición (54.55%).

La mayor parte del equipo de Rayos X fue adquirido nuevo (60.60 %), de éstos (un total de 20 clínicas), únicamente 11 dan servicio al aparato sólo cuando es necesario.

Se encontró que 13 de 33 de odontólogos laboran entre 40 y 50 horas a la semana. Predominan los profesionales que toman de 11 a 15 radiografías a la

semana (27.27%), también se destacó el porcentaje que realiza de 6 a 10 y de 16 a 20 roentgenogramas semanalmente (21.21 y 24.24 % respectivamente).

Las colindancias más frecuentes del salón de Rayos X son: la sala de espera (15.64%), pasillos (12.17%) y la clínica dental (11.30%). Las paredes de las clínicas dentales están construidas con más frecuencia de block con divisiones de plywood (21.21%), únicamente de block (18.19%) y de block con divisiones de tablayeso (15.15%).

La mayoría de salas de Rayos X no poseen rotulación sobre protección radiológica (51.52%), pero sí utiliza barreras protectoras; 48.49% posee una gabacha plomada, 15.15% tiene dos. El 90.91% de estas gabachas se encuentran en buen estado. Sin embargo ninguna clínica tiene cortinas ni lentes plomados. Y sólo el 6.06% tiene cuellos plomados.

La mayoría de operadores realizan sus tomas radiográficas con un kilovoltaje máximo de entre 70 y 79 Kpv. (36.41%), seguido del rango entre 60 y 69 Kpv. (34.11%). Además la mayor parte de los equipos de Rayos X es utilizado con miliamperaje máximo de 8 aM (41.18%), seguido de 7aM (31.76%). En cuanto al tiempo límite por exposición es utilizado el tiempo de entre 0.6 a 1 segundo (51.76%).

En la mayor parte de las clínicas dentales se detecta radiación dispersa en al menos uno de los ambientes contiguos al aparato de Rayos X (63.64%). De igual forma predomina la detección de radiación dispersa en el sitio donde se ubica el

operador en el momento de la exposición radiográfica (51.52%), así como donde se localiza el público en general (59.52%). El rango más frecuente de radiación dispersa detectado tanto en el sitio donde se ubica el operador como donde se encuentra el público en general es de entre 3×10^{-4} a 9×10^{-3} miliGrey/hora; en el caso de la ubicación del operador se encontró el 47.06%.

Por otro lado se halló en el sitio del público en general este rango en un 51.61%. Además de esto, aplicando la fórmula para estimar una dosis de radiación absorbida de acuerdo a la carga de trabajo de cada clínica, se obtuvo que la medida más frecuente estuvo dentro del rango de 1×10^{-6} a 9×10^{-5} miliSievert/semana para el público en general con 64.52%; para el operador fue el rango de 1×10^{-4} - 9×10^{-3} miliSievert/semana con 52.94%. Se puede concluir con respecto a los resultados radiométricos que aunque el ideal de no encontrar radiación dispersa en ambientes contiguos al generador de Rayos X no fue satisfecho en la mayoría de clínicas y ambientes estudiados. Sin embargo el grado de radiación absorbida calculado a partir del nivel de radiación dispersa medido es mínimo y dista mucho de la dosis de seguridad para el operador ocupacionalmente expuesto, así como para el público en general que actualmente acepta la Organización Internacional de Energía Atómica.

El nivel de conocimientos de los operadores sobre protección y seguridad radiológica fue aceptable y las preguntas del cuestionario fueron contestadas adecuadamente en su gran mayoría.

INTRODUCCIÓN

La radiactividad existe desde el principio del universo, por lo tanto también desde la formación de la tierra, y el hombre convive con ésta en forma de radiación de fondo proveniente de la radiación cósmica que se filtra en la atmósfera, en la corteza terrestre y sus aguas, así también contiene el ser humano radiación natural en su organismo en el consumo o inhalación de radionucleidos, especialmente el potasio 40.

Desde que la radiactividad fue descubierta por Henri Becquerel en 1886 y posteriormente utilizada en los Rayos X por Conrad Roentgen se evidenciaron cambios en los organismos expuestos a este fenómeno. Aunque la radiación artificial es utilizada para diferentes fines, la ayuda en el diagnóstico que los Rayos X aportaron es innegable en el campo médico, de igual forma los rayos gamma tienen un sitio importante en el tratamiento de ciertas neoplasias. Sin embargo observando los efectos adversos que la radiación ionizante causa a nivel celular; directamente sobre moléculas de ADN y ARN e indirectamente formando radicales libres que más tarde se manifiestan clínicamente en diferentes lesiones en 1925 surge la Comisión Internacional de Radiología, encargada de la elaboración de normas de seguridad radiológica. Después de años de estudio éstas normas han evolucionado y siguen en el presente tomando forma.

Para que el nivel de radiación sea segura en la labor médica y odontológica deben tomarse una serie de medidas, desde justificar su utilización hasta la utilización de barreras protectoras tanto para el paciente como para el operador, así como

utilización de adecuadas técnicas radiológicas. Estas deben impedir además la penetración de radiación dispersa en sitios colindantes al generador de radiación. En nuestro país el Ministerio de Energía y Minas vela por el cumplimiento de la regulación de las radiaciones ionizantes, por lo que a continuación se presentará un estudio sobre resultados que durante inspecciones de licenciamiento y pre-licenciamiento se obtuvieron de la medición de radiación dispersa en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala, cualidades del equipo de Rayos X, medidas de protección y seguridad radiológicas, así como conocimiento de los operadores sobre éstas medidas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La labor clínica odontológica coloca al profesional constantemente en contacto con agentes que pueden ser nocivos para su salud si no toma precauciones al respecto; por ejemplo manipula fluidos corporales contaminados, se ve inmerso en polución auditiva, su visión puede verse afectada por rayos ultravioleta provenientes de la lámpara de fotocurado, conserva líquidos volátiles que podría aspirar, una postura inadecuada durante largas horas de trabajo también deteriora su salud; y entre otras entidades que por sus capacidades físicas tienen las cualidades para hacer daño a las estructuras biológicas del operador, e incluso a su descendencia, se encuentran los Rayos X, ampliamente utilizados en el diagnóstico y tratamiento odontológicos.

Durante el constante avance de la radiación ionizante en la medicina y el estudio de los efectos de los usos y aplicaciones del material radiactivo en animales se concluye actualmente que la dosis de radiación absorbida máxima para el trabajador ocupacionalmente expuesto es de 20 mili Sievert al año, comprobando que después de esta dosis inevitablemente se manifiestan efectos indeseados en el organismo, especialmente en los órganos más radiosensibles (médula ósea, gónadas y cristalino ocular). De esta forma se recomienda que una dosis segura para el operador de Rayos X no debería exceder los 20 mili Sievert anuales.

Para que ésta dosis absorbida máxima anual no sea alcanzada debe evitarse que la radiación dispersa, provocada por el esparcimiento del haz primario de radiación al incidir con la materia, trascienda más allá de la sala de Rayos X y se difunda a donde se encuentra el operador, personal auxiliar, o público en general.

En clínicas dentales se requiere a menudo de la ayuda de los Rayos X, sin embargo se ignora si el conocimiento de los operadores así como la calidad del aparato, su mantenimiento y las medidas físicas y técnicas llevadas a cabo son suficientes para impedir la penetración de radiación secundaria a sitios colindantes al generador de radiación que puede hacer sobrepasar la dosis de seguridad de 20 mili Sievert anuales para el operador y evitar la exposición al público. Por eso vale cuestionar: ¿cuál es el nivel de radiación dispersa detectado en ambientes contiguos al aparato de Rayos X en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala y cuál es el grado de conocimientos sobre seguridad radiológica de los operadores de Rayos X dental registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002?

JUSTIFICACIÓN

Es importante realizar un sondeo de conocimientos sobre protección radiológica del personal ocupacionalmente expuesto, así como evaluar si las medidas llevadas a cabo son suficientes para impedir niveles de radiación que pueden ocasionar problemas de salud en personas cercanas al generador de radiación, o en sus descendientes, aceptando que el incumplimiento de lo anterior hace incurrir en faltas profesionales y legales.

El conocimiento que el odontólogo tiene sobre los efectos nocivos de la radiación sobre el organismo hace que sea obligación para él protegerse a sí mismo, así como al paciente, el personal asistente y al público en general.

Antes de siquiera someter al paciente a la radiación para obtener un diagnóstico se debe justificar esta exposición aceptando que ninguna práctica que entrañe la exposición de individuos a las radiaciones ionizantes debe ser admitida, a menos que su introducción, comparada con el detrimento que provoca, produzca suficiente beneficio a las personas expuestas.

En el momento de utilizar los Rayos X el operador debe estar conciente de todas las medidas de protección y seguridad radiológica que puede adoptar para evitar daño en las personas que rodean el aparato, teniendo en cuenta que no sólo es una responsabilidad profesional o moral, sino que también civil, según lo acordado en el Decreto de Ley 11-86 aprobado por el Congreso de la República de Guatemala. En el capítulo VII artículo 25 al 29 se nombran las medidas de seguridad que se

deben adoptar, en caso de no satisfacerlas, en el capítulo X se describen las sanciones pertinentes.

Además en el Acuerdo Gubernativo 55-2001, en el capítulo V se especifica la responsabilidad de la exposición médica, así como las sanciones en el título IV.

Los resultados del estudio radiométrico, de inspección de equipo radiológico y de cuestionarios de conocimientos sobre protección y seguridad radiológica beneficiarán además a retroalimentar el curso impartido por la Dirección General de Energía, requisito para obtener la licencia de operador de Rayos X dental. Así también lo harán con el pensum de estudios de las distintas Facultades de Odontología de las Universidades nacionales.

REVISIÓN DE LITERATURA

RADIACIÓN , SUS ORIGENES Y MEDIO AMBIENTE

A. RADIACIÓN Y RELACION CON LA VIDA

Cualquier forma de vida en la Tierra está inevitablemente asociada con exposición a la radiación del medio ambiente proveniente de diversos orígenes. Algunas tienen su origen en la naturaleza y otras son artificiales, es decir, resultados de acciones humanas.

Clasificación de las radiaciones

Las radiaciones se pueden clasificar en dos grandes ramas que son:

1. Radiaciones ionizantes
2. Radiaciones no-ionizantes

Radiaciones ionizantes:

Son aquellas que al interaccionar con la materia producen ionizaciones (formación de iones por extracción de electrones de la materia), debido a su elevada energía. A esta categoría pertenecen las radiaciones alfa, beta, gama y Rayos X.

Radiaciones no ionizantes:

Son aquellas que no producen ionizaciones cuando interaccionan con los materiales, debido a que poseen una energía baja. Dentro de estas se pueden citar a las ondas de radio y las microondas. ⁽²⁰⁾

Origen y Clasificación de las Radiaciones Ionizantes

Las radiaciones ionizantes pueden originarse en el núcleo del átomo o en la capa electrónica del mismo. Los tipos principales de radiaciones ionizantes son:

1. Radiación alfa : Se origina cuando el núcleo de un átomo libera un núcleo de helio (partícula alfa). Aparece en los núcleos con número atómico muy alto (mayor que 82) decaen con mayor frecuencia liberando una partícula que a medida que el número de protones en el núcleo se incrementa más allá de 82, las fuerzas de repulsión eléctrica (llamadas fuerzas de Coulomb) entre protones se vuelven tan intensas que sobrepasan a las fuerzas nucleares que mantienen unidos a los nucleones.

Como resultado del decaimiento alfa, el número atómico del elemento se reduce en dos y el número de masa se reduce en cuatro.

2. Radiación beta : Se produce cuando un núcleo emite un electrón positivo o positrón o un electrón.

2.1. Decaimiento beta negativo:

Los radionúcleidos con un número excesivo de neutrones o una elevada relación neutrón-protón tienden a modificar dicha relación

para lograr estabilidad. Esta estabilidad se logra emitiendo un electrón.

2.2. Decaimiento beta positivo:

Los radionucleidos que emiten positrones tienen un déficit de neutrones y su relación neutrón- protón es menor que la de los núcleos estables que tienen el mismo número atómico o número de neutrones.

Para que estos núcleos alcancen la estabilidad, el modo de decaimiento deberá ser tal que como resultado se obtenga un incremento en la relación neutrón-protón. Una forma de alcanzar esto es la emisión positrónica.

3. Radiación gama: Se produce cuando un núcleo emite un fotón (un fotón una cantidad discreta de energía) con el objeto de ganar estabilidad.
4. Rayos X: Se producen en la capa electrónica que rodea al núcleo atómico. Los Rayos X pueden producirse mediante los siguientes mecanismos.

4.1 Radiación de frenado: Conocida también como bremsstrahlung. Al pasar electrones cerca del núcleo atómico, dichos electrones son atraídos y su velocidad cambia (existe un aceleración). Durante este proceso de aceleración los electrones en movimiento producen la radiación de frenado constituida por Rayos X.

4.2 Rayos X característicos: Los electrones que inciden en un blanco pueden producir también Rayos X característicos. Un electrón incidente puede interactuar con átomos arrancando electrones de las órbitas, dejando al átomo ionizado. El electrón que ha sido arrancado ha dejado una vacante. Luego de este evento, un electrón orbital caerá desde su órbita hasta la vacante. Durante este proceso el electrón que cae emite radiación electromagnética llamada radiación característica pues es característica de los átomos de los blancos y de las órbitas entre las que se ha verificado la transición electrónica.

Origen y clasificación de radiación no ionizante:

Radiación de fondo o background

Debido a que toda la vida en nuestro planeta se ha desarrollado y evidentemente florecido en este medio ambiente radiactivo, es útil poder cuantificar estos niveles naturales de radiactividad. Algún grado de exposición a la radiación natural es inevitable y algunos de los elementos que originan esta exposición son más o menos invariables, de aquí nace el concepto de radiación natural de fondo o background.

Esta exposición a la radiación puede estar afectada por factores de localidad, nutricionales, ocupacionales, etc. y las dosis resultantes pueden ser afectadas por la anatomía y fisiología de las personas así expuestas.

Es importante cuantificar esta radiación natural, no sólo para conocer los niveles de fondo, sino que ellos deben ser conocidos antes de tratar de detectar y medir los

incrementos antropogénicos. Por otra parte, esta radiación de fondo natural, nos indica niveles que pueden ser mirados como aceptables. ^(1, 5, 11, 13)

B. EXPOSICIÓN A RADIACIONES:

Dentro de las radiaciones a las que el ser humano está expuesto se pueden mencionar las siguientes:

- I. Radiación natural
- II. Radiación artificial

I. Radiación Natural

La radiación intervino en la gran explosión (big-bang) que, según se cree dio origen al universo hace unos 20000 millones de años. Desde entonces se ha dispersado por el cosmos. Los materiales radiactivos se convirtieron en parte integrante de la tierra desde el momento mismo de su formación. Incluso el hombre es ligeramente radiactivo, ya que todo organismo vivo contiene vestigios de sustancias radiactivas.

Desde el descubrimiento de los Rayos X y la radiactividad natural a fines del siglo XIX (Roentgen, Becquerel, Curie), los efectos y usos de estas radiaciones, en el campo de la biología experimental, medicina, industria, etc. han estado bajo constante estudio. La extensión en la cual la radiación natural del medio ambiente ha jugado un rol en la evolución y desarrollo de la vida sobre la tierra, puede no ser nunca completamente comprendida, pero que esta radiación tuvo una participación, difícilmente puede ser puesta en duda a la luz de los conceptos modernos acerca de las propiedades mutagénicas de los niveles bajos de radiación. ⁽¹³⁾

Orígenes y fuentes de radiación natural

Se han encontrado alrededor de 340 nucleidos en la naturaleza de los cuales alrededor de 70 son radiactivos (Radionucléidos o Radioisótopos), principalmente entre los elementos pesados. Todos los elementos que tienen un número atómico (Z) mayor que 80 poseen isótopos radiactivos, y todos los isótopos de elementos de Z mayor que 83 son radiactivos. La evaluación y conocimiento de las dosis de radiación que el ser humano recibe de las diferentes fuentes naturales tienen particular importancia debido a que esta radiación natural aporta la máxima contribución a la dosis colectiva de la población mundial.

Existen tres fuentes naturales de exposición a las radiaciones ionizantes:

- Radiación Cósmica.
- Radionucléidos Cosmogénicos.
- Radionucléidos Primordiales.

Radiación Cósmica

El espacio está siendo permanentemente bombardeado por radiaciones ionizantes, que corresponden a diferentes partículas cargadas de diversos orígenes y energías. Esta radiación puede a su vez clasificarse de acuerdo a su origen en radiación de captura geomagnética, radiación cósmica galáctica y radiación cósmica solar.

La radiación de captura geomagnética está constituida principalmente por electrones y protones mantenido en órbita alrededor de la tierra por su campo magnético. Se encuentra ubicada en dos zonas ó cinturones, uno dentro y otro fuera

de 2.8 radios terrestres en el Ecuador, con mayor intensidad y energía en la zona exterior. Existen apreciables variaciones temporales de intensidad, y las energías pueden alcanzar varios MeV (Megaelectrón-volt). Los protones de captura son más importantes que los electrones en misiones tripuladas en órbitas cercanas a la tierra. (Energías de unos pocos cientos de MeV.). Los electrones de captura son más significativos para la exposición terrestre.

Los rayos cósmicos galácticos se originan fuera del sistema solar, sus fuentes y procesos no están claramente comprendidos. Sus energías están comprendidas entre 10^2 y 10^5 MeV, pudiendo alcanzar hasta los 10^{14} MeV. Esta radiación de alta energía, principalmente protones, entra al sistema solar y parte de ella alcanza la superficie terrestre y es denominada rayos cósmicos primarios o radiación cósmica galáctica primaria. Cuando esta radiación ingresa a la atmósfera terrestre interactúa con núcleos de átomos presente en ella, originando otras partículas subatómicas, principalmente protones y neutrones, y en menor cantidad electrones, mesones, fotones, etc. Se le denomina Radiación Cósmica Secundaria. De esta manera se produce un efecto cascada o multiplicativo. Un evento primario puede lugar a tantos como 10^8 eventos secundarios. ^(1, 13)

La radiación cósmica primaria y secundaria alcanza la superficie de la tierra dando lugar a dosis de radiación mediante irradiación externa. Es la mayor fuente de dosis por exposición externa en seres vivos.

Existe un componente adicional que se conoce como Radiación Cósmica Primaria Solar, que se origina en períodos de gran actividad solar (una o dos veces en ciclos de 11 años), principalmente protones de baja energía (10 MeV) y partículas alfa.

Sin embargo, estas partículas tienen energías relativamente bajas y no suelen causar aumentos significativos en la dosis de radiación en la superficie terrestre.

Radionucleidos cosmogénicos

La interacción entre núcleos de átomos estables, presentes en la atmósfera y corteza terrestre, y las subatómicas (principalmente protones y neutrones) de la radiación cósmica secundaria originan cambios nucleares (transmutación nuclear). Como resultado de estas reacciones se están produciendo continuamente radionucleidos en el medio natural conocida como radionucleidos-cosmogénicos.

(Ejemplo: C^{14} emisor beta)

De un modo general una transmutación nuclear puede representarse como sigue:

Núcleo Blanco	-> Bombardeo de	->	Núcleo	+	Partícula
	Partículas		Producto		Subatómica
	Subatómicas				o radiación gamma

Un ejemplo de esta reacción es la formación de Carbono 14 (C-14) radiactivo a partir de Nitrógeno 14 (estable) presente en la atmósfera



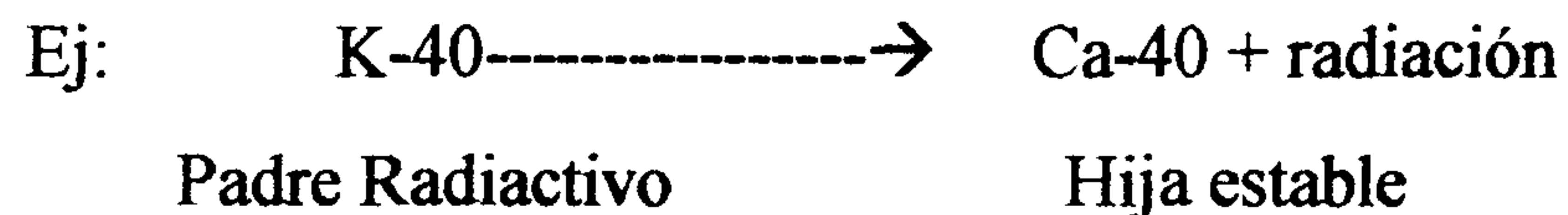
Solo cuatro de estos radionucleidos cosmogénicos son significativos como fuente de exposición a las radiaciones en los seres vivos. Tritio (3H); Berilio (7Be); Carbono 14 (^{14}C) y Sodio 22 (^{22}Na).

Su aporte a la dosis de radiación es principalmente, por exposición interna.

Radionucleidos primordiales de origen terrestre.

- Se conocen con este nombre a aquellos radionucleidos que han estado presentes en la corteza terrestre y sus aguas desde la formación del planeta. Se dividen en dos clases:

- a) Radionucleidos primordiales singulares, es decir sufren una sola etapa de decaimiento para dar un núcleo estable. (tabla 2)



De ellos sólo el potasio 40(K-40) y Rubidio 87 (Rb-87) contribuyen significativamente a las dosis de radiación de los seres vivos.

- b) Radionucleidos primordiales que forman parte de series o cadenas de desintegración radiactiva.

Existen tres series de desintegración radiactivas:

- 1)Serie del Uranio: Se origina con U-238 y termina con Pb-206 estable.
- 2)Serie del Torio: Se origina con Th-232 y termina con Pb-208 estable.
- 3)Serie del Actino: Se origina con U-235 y termina con Pb-207 estable.

Se sabe que existió en épocas pretéritas una cuarta familia, la serie de Neptunio, que lo originaba Pu-241 (Vida media: 14 años). Debido a la

relativamente corta vida media de sus miembros, estos desaparecieron. El único miembro sobreviviente de esta serie es el Bi-209 (Vida media: 2×10^{18} años).

Estas tres familias radiactivas dan cuenta de la mayor parte de la radiación natural de fondo a la cual están expuestos los seres vivos. De estas series, la del Actino, no contribuye significativamente. ^(3, 13, 17)

II. Radiación Artificial

Se conoce como radiación artificial a toda aquella emitida por objetos, instrumentos o aparatos creados por el hombre, tal es el caso de la Radiación X, la cual se describe posteriormente.

C. CONTAMINACION RADIATIVA AMBIENTAL

Generalidades

Debido al desarrollo de la ciencia y tecnología al ambiente natural puede sufrir cambios en su equilibrio ecológico.

Los cambios producidos pueden ser imperceptibles o notorios, temporales o permanentes, generalizados o locales, de corto o largo plazo dependiendo del tiempo de exposición concentración y clase de contaminación.

Fuentes artificiales:

Las principales fuentes artificiales de radiaciones ionizantes se pueden dividir en tres grandes grupos.

- Explosiones Nucleares.
- Producción de Potencia Nuclear.
- Usos médicos de la radiación.

Además se deben incluir las exposiciones provenientes del incremento artificial de la radiación natural y la de usos de productos de consumo que contiene sustancias radiactivas.

- Explosiones nucleares

No es el propósito describir los tipos de bombas existentes, ni los terribles efectos directos que provoca, sólo se mencionará en líneas generales que las sustancias radiactivas que se producen después de una explosión constituyen en la llamada radiación residual, constituida por restos del artefacto nuclear o incorporación de material al medio, formando una masa intensamente luminosa, caliente conocida como bola de fuego cuya temperatura es del orden de los millones de grados.

Cuando esa bola de fuego, se enfría todos los materiales vaporizados comienzan a solidificarse o condensar dando origen al llamado fallout o precipitación radiactiva cuyo comportamiento dependerá de la potencia del artefacto nuclear de la altura de la explosión, y de los fenómenos meteorológicos que afectan la zona de tiro.

Se puede dividir esta en precipitación radiactiva en tres formas principales:

- a) Precipitación próxima o local, la cual está formada por residuos de activación, los que caen esencialmente por gravedad en la zona de tiro.

- b) Precipitación troposférica o lejana, compuesta por partículas más finas que las anteriores y proyectadas hacia las capas inferiores de la atmósfera (troposfera hasta 11 km.), siendo afectadas por los vientos y transportadas a largas distancias descendiendo paulatinamente por efecto de las lluvias (deposición húmeda) o por efecto del viento y la gravedad (deposición seca).
- c) Precipitación estratosférica o mundial, formada por partículas muy finas proyectadas hacia la estratosfera (11-80 Km. Altura), sobre los cuales la acción de la gravedad es mínima. Estas partículas sometidas a los vientos estratosféricos presentan gran dificultad para franquear la tropopausa y tardan años en descender hasta el suelo.

Una explosión nuclear produce más de 200 productos de fisión y docenas de productos de activación, los cuales están lejos de ser todos iguales en importancia. Sus semiperíodos característicos y sus diferentes concentraciones de actividad producidas, por un lado, y por otra parte la variabilidad de procesos atmosféricos de dispersión, inyección de aire estratosférico en la troposfera, precipitación en el suelo y variabilidad de procesos de ingestión dan como resultados una gran diversidad de dosis recibida por los seres vivos.

En el estudio de las mezclas de radionucleidos producidos en estas detonaciones, se ha determinado que existen un cierto número de

radionucleidos estándar que siempre están presentes y que constituyen el grueso de fallout.

Podemos señalar que los radionucleidos que se encuentran en períodos de fallout fresco, es decir entre 8 a 10 días son: Iodo-131, Neódimio-147, Cerio-141, Ba140, Rutenio-103, Estroncio-89, etc. que se caracterizan por su semiperíodo o vida media relativamente corta.

En períodos fuera de fallout fresco, se encuentran productos de fisión de semiperíodo largo como son por ejemplo: el caso de Cesio-137 (30años) y Estroncio -90 (28 años).

Los radionucleidos presentes en el fallout pueden dar lugar a una exposición interna por inhalación, cuando están presentes en el aire, o a una radiación externa, cuando se depositan en el suelo y luego a una exposición interna debido a su ingestión a través de la cadena alimentaria.

Desde el punto de vista radio sanitario los radionucleidos más importantes son el Estroncio -90 y el Cesio -137 por algunas de sus características, como son: sus semiperíodos largos y su comportamiento químico análogo al de algunas de los constituyentes de los organismos vivos. Así el Sr se metaboliza por las mismas vías que Ca, y el Cs por mismas vías que el K. (4, 5, 6, 13)

- **Producción de potencia nuclear**

La producción de energía eléctrica por reactores nucleares presupone la existencia de un ciclo del combustible que involucra varias etapas.

- Minería y procesamiento de minerales de Uranio.
- Procesos de conversión a varias formas químicas.
- Enriquecimiento del contenido isotópico de U-235 (en algunos casos).
- Fabricación de elementos combustibles.
- Producción de potencia en reactores nucleares.
- Reprocesamiento de material irradiado (en algunos casos).
- Transporte de materiales entre las instalaciones.
- Desecho de material radiactivo.

- **Usos médicos**

La radiación por usos médicos sobrepasa en cantidad a la recibida por otro tipo de fuentes artificiales. El uso de radiación en medicina, puede ser con propósitos de diagnóstico (Rayos X o exámenes de medicina nuclear) y para el tratamiento de enfermedades principalmente cáncer. Las dosis recibidas por los pacientes son extremadamente variables: desde muy pequeñas como en muchos exámenes de diagnóstico a muy grandes, tales como las usadas en radioterapia clínica.

Como la exposición por uso médico involucra usualmente regiones limitadas del cuerpo, es difícil compararla con otro tipo de exposiciones. Una estimación primaria, sin embargo, de dosis promedio al público puede estar en el rango de 1.0 – 0.5 de la dosis proveniente de fuentes naturales.⁽³⁾

D. PRINCIPIOS DE FÍSICA NUCLEAR

Estructura atómica

El átomo constituye el bloque fundamental del cual está formada la materia. El átomo está constituido por un núcleo central de gran masa y una nube de electrones en movimiento que le rodean. El núcleo está formado por dos tipos de partículas conocidas como neutrones y protones. El protón tiene carga positiva mientras que el neutrón carece de carga. En cuanto a los electrones, se sabe que tienen una masa inferior a la de los protones y que poseen una carga negativa.

El núcleo, a su vez, está formado por partículas sin carga llamados neutrones o nucleones. La carga positiva del núcleo, se debe a la presencia de protones, que se encuentran en órbita alrededor del mismo; mientras que los electrones, cargados negativamente, giran alrededor del núcleo, en órbita o capas bien definidas a diferentes distancias radiales.

El protón es 1837 veces más pesado que el electrón, y la masa del neutrón es ligeramente mayor que la del protón. La carga de un electrón la carga más pequeña conocida

El protón tiene una carga igual a la del electrón, pero de signo contrario. ^(1, 4)

Número atómico y número másico o de masa:

El átomo en conjunto, es eléctricamente neutro, por lo que el número de protones del núcleo es igual al número de electrones orbitales. Así, el número total de electrones orbitales, caracteriza a cada elemento, y se conoce como "Número Atómico". Este se designa por el símbolo "Z". La suma del número de protones y del número de neutrones se llama "Número Másico o de Masa", y se designa por el símbolo "A", constituyendo un índice de la masa del átomo.

Radiactividad

Se conoce bajo el término radiactividad al fenómeno en el cual la radiación es producida desde el núcleo de los elementos. La radiactividad fue descubierta por Henri Becquerel en 1896. Esta radiación puede ser en la forma de partículas o bien en forma de radiación electromagnética o una combinación de ambas. ^(20, 22)

E. RADIACIÓN X:

Este es un tipo de radiación artificial, la cual está considerada como un tipo de radiación electromagnética, la cual está formada por pequeñas unidades de energía llamadas Quanto o Fotones, los cuales viajan con movimiento ondulatorio. La longitud de onda de la radiación X es aproximadamente 1/10,000 cms. lineales de la longitud de onda de la luz. Esta característica es la que da a los rayos X la habilidad de penetrar materiales que absorben o reflejen luz.

La radiación X posee todas las propiedades de la luz, pero en grado tan diverso que ambos tipos de radiaciones electromagnéticas actúan de manera completamente distinta.

Propiedades de los Rayos X:

- 1 Longitud de onda corta, por lo que le permite penetrar objetos.
2. Viaja en línea recta, a una velocidad de 300,000 kms. por segundo.
3. Produce en películas sensibles, un registro latente, el cual se puede hacer visible por medio del procesado.
4. No es afectado por campos magnéticos.
5. Es capaz de proyectar sombras de objetos.
6. Es capaz de ionizar compuestos.
7. Es invisible.
8. Produce modificaciones biológicas, somáticas y genéticas, lo que permite emplearlos en terapéutica y también obliga a utilizarla con precaución. ^(6, 7)

Historia de los Rayos X:

No fue sino en el siglo XIX el 8 de noviembre de 1895, en Witzburg, Alemania, cuando el profesor y doctor Wilhem Konrad Von Röntgen, al realizar experimentos con electricidad de tubos de vacío y rayos catódicos, descubrió los Rayos X. ^(7, 8)

Röntgen, profesor de Física de la Universidad de Wutzburg en Baviera, Alemania, se encontraba experimentando con rayos catódicos cuando observó, accidentalmente fluorescencia en los cristales de platino-cianuro de bario, los

cuales se encontraban a alguna distancia del tubo del aparato de Rayos X. Röntgen encontró que este fenómeno era debido a un rayo previamente desconocido, por lo que lo llamó Rayo X.

Röntgen, estableció la mayoría de las propiedades de la radiación X, y comunicó sus observaciones en diciembre de 1895, marzo de 1896 y mayo de 1897. los Rayos X fueron utilizados en Odontología desde 1896. ^{(18, 22).}

Equipo de Rayos X:

Los aparatos de Rayos X son identificados de acuerdo con su capacidad de producción de Rayos X en las especialidades para las cuales son indicados. Ellos operan normalmente en un rango de voltaje entre 40 y 150 kVp y con una corriente de tubo entre 6 y 1200 aM. En la mayoría de los casos están constituidos de 3 partes: el tubo de Rayos x, el generador de alto voltaje y el panel de control.

Las radiaciones emitidas por el tubo de Rayos X pueden ser:

- 1 . Radiación primaria: fotones que no interactúan.
2. Radiación dispersa: por lo menos una interacción.
3. Radiación de fuga: es la radiación no absorbida por el blindaje de la coraza del tubo de Rayos X.
4. Radiación transmitida: emerge después de atravesar la materia parrilla antidifusora.

Partes del aparato de Rayos X: Al ser la radiación X la que más nos interesa en este estudio se considera pertinente especificar en que consiste cada una de las

partes del aparato que genera este tipo de radiación. Entre las principales partes de este aparato se pueden mencionar:

- El tubo del aparato de Rayos X
- Ánodo
- Cátodo
- Tubo de Rayos X:

El tubo de Rayos X, consiste en una envoltura de cristal herméticamente cerrada al vacío, la cual contiene dos partes importantes: El ánodo y el cátodo.⁽⁶⁾

El ánodo, electrodo positivo, generalmente es de cobre, puesto que es un excelente conductor térmico. En su parte anterior, que está en el centro del tubo, tiene un bloque de tungsteno, llamado blanco. La zona del blanco donde chocan los electrones, se llama punto focal; este punto focal, es donde se produce la radiación X. El haz útil de radiación emerge de este punto focal. La proyección del punto focal (punto focal efectivo), visto desde cualquier ángulo, dentro del haz de radiación, aparece como un cuadrado cuyas dimensiones son iguales a la del lado más corto del punto focal rectangular (foco lineal). El uso de punto focal rectangular, el cual es proyectado como un cuadrado recibe el nombre de foco lineal y se obtiene colocando la superficie del punto focal en un ángulo apropiado. El uso de foco lineal permite que la radiación X, sea producida sobre un área extensa de la superficie del ánodo, lo cual genera menos calor por unidad de área.

El hecho de que el calor generado sobre un área más extensa hace que el ánodo sea menos susceptible a daño cuando ocurre una sobrecarga, aM (miliamperios) o tiempo de exposición excesivos. En éste, uno de los extremos se halla fijado a un radiador.

El cátodo (electrodo negativo), contiene un filamento de alambre de tungsteno, en forma de espiral, el cual está contenido en un recipiente de molibdeno en forma de copa, a una distancia de 2.5cms. del ánodo. El filamento, calentado por una corriente eléctrica de bajo voltaje, actúa como fuente de electrones, los cuales son emitidos por el alambre caliente.

El tubo de Rayos X está provisto de dos circuitos eléctricos: el circuito ánodo- cátodo y el circuito del filamento. El circuito del filamento requiere bajo voltaje, mientras que el circuito ánodo-cátodo requiere alto voltaje.

La radiación X es producida por la conversión de energía eléctrica (diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo) en energía cinética (velocidad de los electrones en el haz).

Cuando se emite alto voltaje al cátodo, existe un transformador que eleva este voltaje produciendo los kilovoltios ($1 \text{ Kv.} = 1000 \text{ voltios}$), el cátodo mientras más elevado está el kilovoltaje, mayor será el número de electrones que emitirá; éstos electrones son atraídos por el punto focal lugar donde se formarán los fotones o Rayos X.

El impacto de los electrones genera calor y radiación X. Solamente el 1% de la energía producida por este impacto es emitida en forma de radiación X, el 99% restante se convierte en calor. Esta gran cantidad de calor debe ser eliminado del punto focal lo más rápido posible, de lo contrario, el metal se fundirá destruyendo el tubo; la eliminación del calor tanto en el punto focal como en todo el tubo de Rayos X, es efectuado por tres factores: tiempo entre una y otra descarga de electrones, un aceite refrigerante dentro del que se encuentra el tubo de Rayos X y un radiador que va directamente a las terminales ánodo-cátodo . ⁽⁶⁾

Funcionamiento del tubo de Rayos X:

El aparato eléctrico necesario para hacer funcionar un tubo de Rayos X consta de varios componentes. Los circuitos para el tubo de Rayos X y el transformador de alto voltaje se disponen de tal forma que se aplica voltaje positivo al ánodo y voltaje negativo al cátodo. Debido a que utilizamos corriente alterna, en la cual el voltaje cambia constantemente, dicho voltaje se expresa en términos de máximo kilovoltaje (1 kilovoltio: 1 000 voltios). ⁽⁵⁾

El kilovoltaje controla la velocidad de cada electrón o fuerza eléctrica.

El número de electrones está controlado por la temperatura (grado de incandescencia) del filamento del cátodo. Cuanto más caliente está el filamento, más electrones serán emitidos y estarán disponibles para formar la corriente de electrones. El número de electrones por segundo, en el tubo de Rayos X se mide en miliamperios (un amperio: 1/1 000 de amperio).

La intensidad de radiación X producida a un determinado kilovoltaje, depende del miliamperaje. Calibrar un aparato de Rayos X para que funcione a un miliamperaje específico, quiere decir simplemente ajustar la temperatura del filamento para que produzca una corriente indicada.

Los aparatos de Rayos X utilizados en odontología, deben funcionar a un voltaje determinado; las fluctuaciones en el voltaje deben ser controlados, para lo cual se utiliza un seleccionador de voltaje.

Las variables que se comandan en los tubos de Rayos X son el kilovoltaje, miliamperaje y tiempo. La diferencia de potencial se consigue mediante un transformador que permite elevar el kilovoltaje hasta el valor requerido. En los equipos de diagnosis éste varia de 30 Kv. hasta 150 Kv.

A mayor kilovoltaje será mayor la energía de los fotones de los Rayos X y por lo tanto también mayor la penetración en la materia.

Aumentando la corriente del tubo (miliamperaje) se consigue un aumento proporcional en el número de fotones que genera el mismo. En los equipos de radiología, una vez fijado el kilovoltaje en función del espesor y tipo de tejido a atravesar por los Rayos X, se trata de dar una alta intensidad de rayos (miliamperaje) para lograr la radiografía en el mínimo tiempo. Esto permite obtener una imagen nítida de objetos en movimiento.

Para un dado kilovoltaje y miliamperaje hay un tiempo máximo en que puede emitir rayos el tubo; este tiempo máximo es función del tipo de tubo de Rayos X. Cuando más potente sea el equipo mayor será el tiempo máximo.

Además para obtener radiografías nítidas de ciertos órganos o paciente en movimiento, es necesario hacer la exposición en un tiempo reducido.

Haz de radiación y formación de imagen latente:

El haz de radiación es una serie de pulsaciones cuya frecuencia depende del número de ciclos por segundo de la fuente de corriente eléctrica. ^(1 2,)

La radiación X y la luz son similares en cuanto irradian desde la fuente, en todas direcciones, a no ser que sean detenidas por un absorbente. Por esta razón el tubo de Rayos X está encerrado en un recipiente metálico que bloquea la mayor parte de la radiación emitida y deja pasar un haz, el cual sale del tubo a través de una ventana. Este haz de radiación útil está compuesto de radiaciones de diferentes longitudes de onda y diferente poder de penetración. ^(1 , 6)

Absorción de radiación:

El grado de absorción de la radiación X por una sustancia, depende de tres factores:

- Longitud de onda de la radiación utilizada.
- Composición del objeto.
- Espesor y densidad del objeto.

No toda la radiación que llega a la superficie de un objeto la atraviesa; alguna es absorbida. La habilidad de la radiación X para penetrar objetos, depende de su longitud de onda; radiación de longitud de onda larga (producida por

kilovoltajes bajos) son absorbidos fácilmente; radiación de longitud de onda corta (producida por kilovoltaje alto), penetran con facilidad. ⁽⁶⁾

- **Composición del objeto:**

La absorción de la radiación, está en función directa a la composición atómica de los componentes del objeto. Substancias con números atómicos altos absorben radiación más fácilmente que substancias con números atómicos bajos. ^(8, 9)

- **Espesor y densidad del objeto:**

Un objeto grueso absorbe más radiación X que un fragmento más delgado del mismo objeto.

De igual forma sucede con la densidad del objeto. ⁽⁶⁾

Estos factores son importantes en Radiología, puesto que piezas dentarias, hueso y tejidos blandos, no solo tienen espesores diferentes sino también están compuestos de substancias de composición diferente, las cuales absorben la radiación en proporciones distintos. Por ejemplo, estructuras dentales y óseas absorben más radiación que tejidos blandos; tejidos blandos absorben más radiación que espacios aéreos; estructuras patológicas generalmente absorben radiación de forma distinta de como es absorbida por estructuras normales. La edad del paciente es otro factor que interviene directamente en la absorción de la radiación; huesos adultos contienen más sales de calcio y por consiguiente absorben más radiación que huesos jóvenes, los cuales contienen menos sales de calcio. ^(4, 7)

Penetración de los Rayos X:

La penetración de los Rayos X depende del voltaje, produciéndose por lo menos más de una serie de pares de iones por relación electromagnética antes de dispersar energía. ⁽¹⁰⁾

El poder de penetración es tanto más pequeño cuanto mayor es el peso atómico de la substancia. ⁽²⁰⁾

Atenuación:

Al atravesar la materia, la intensidad de la radiación disminuye a consecuencia de interacciones complejas entre la radiación y la substancia de que se trate. Esta reducción de intensidad se llama atenuación. La intensidad de radiación, en un punto dado, se refiere como la energía que entra, por unidad de tiempo, en una esfera cuya sección recta es la unidad de superficie, con centro en dicho punto. Se mide en ergios por centímetro cuadrado y segundo o vatios por cm. cuadrado. ^(2, 3)

El grado de atenuación depende del tipo de radiación y del material utilizado. Los materiales que se emplean para atenuar la radiación se llaman materiales de blindaje y en relación con ellos se usan frecuentemente las expresiones "espesor de reducción a la mitad (ERM)" y "espesor de reducción a 1/10". ^(4, 9, 12)

Dispersión de los Rayos X:

Al pasar a través de la materia, los Rayos X se atenúan, no solamente debido a la absorción, sino también debido a la dispersión. ^(21, 23)

La teoría de este fenómeno es que cada partícula sobre la que incide la radiación, se convierte en el punto inicial de una nueva radiación emitida en todas direcciones.

Cuando los Rayos X inciden en un objeto, una parte del haz incidente (primario) es atenuado por la absorción y otra parte del haz, es dispersada en la substancia. ^(10, 23)

La radiación puede ser directa y dispersa, cuando llega en línea recta a la persona y sirve de base para los cálculos de protección, por ser la más peligrosa, y la segunda: es la que se difracta al choque de un haz de radiación directa con el objeto. Es menos peligrosa porque en cada choque se reduce el 10% de su intensidad.

La radiación dispersa posee la misma dureza o longitud de onda (dispersión no modificada) que la radiación primaria y parcialmente en radiación que ha sufrido cambios esenciales debido a la transferencia de energía, llamada: dispersión modificada o efecto compton.

La radiación dispersa es proporcionalmente más absorbida que la primaria, porque usualmente sigue un recorrido oblicuo y por tanto, su trayectoria en el cuerpo es mayor que la radiación primaria.

La radiación dispersa convierte cada punto dentro del interior del cuerpo en un nuevo foco, que emite a su vez rayos en todas direcciones, siendo la dosis en superficie igual a la dosis incidente, más la dispersión retrógrada.

Pero mientras la absorción aumenta con la densidad (masa por centímetro cúbico) la dispersión decrece relativamente. También la absorción decrece con la radiación de menor longitud de onda, mientras que la dispersión aumenta ligeramente. ^(10, 23)

F. EFECTOS BIOLOGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Conceptos básicos de histología:

La célula se considera la unidad básica funcional más pequeña en todo organismo viviente. Los niveles de organización pueden denominarse:

1. Unicelulares (una célula, organización simple)
2. Multicelulares (dos o más células)

En todas puede observarse diferencias de tamaño, forma o función. En la organización multicelular los componentes (células), cumplen una misma función pudiendo estar agrupadas para formar un tejido como la sangre, el tejido óseo, el tejido muscular. Puede observarse que algunos tejidos pueden funcionar independientemente y con un solo tipo de células, pero en otras ocasiones se reúnen diversos tejidos de diferentes tipos de células y funciones para formar una unidad más compleja llamada órgano que desarrolla funciones más específicas como el corazón, los pulmones o el estómago, quienes a su vez pueden o están interrelacionados para formar sistemas ó aparatos, como el aparato digestivo, respiratorio, circulatorio, etc. Aunque existen características básicas y morfológicas diferentes en las células las hay comunes a todas. ⁽¹⁰⁾

La célula de los mamíferos se compone de dos partes fundamentales:

1. el núcleo y
2. el citoplasma (separados por la membrana nuclear)

El núcleo es la parte central y se encuentra separada físicamente del resto de la célula por la membrana nuclear. A su alrededor se encuentra el citoplasma encargado de las funciones metabólicas de la célula en él están presentes organelos específicos. Es la membrana que separa físicamente al núcleo y el citoplasma y esta encargada de supervisar y coordinar las actividades del citoplasma.

En cuanto al encargado de dirigir estas actividades que es el material genético o genes, se encuentra en los cromosomas. Un cromosoma contiene los genes propios a cada ser en sucesión lineal determinada. Cada gen tiene que realizar una función específica para el mantenimiento de la célula y el desarrollo del individuo. Los genes a su vez están formados por una macromolécula llamada ácido desoxirribonucleico (DNA o ARN).

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son el esfuerzo de los seres vivos para controlar la energía que han absorbido como consecuencia de su interacción con algún tipo de radiación ionizante. Es la radiobiología la encargada del estudio de los sucesos que se producen después de la absorción de la energía procedente de las radiaciones ionizantes, el esfuerzo que hace el organismo para compensar los efectos y las lesiones que se pueden producir en la célula y por ende en el organismo. Debemos también considerar que:

1. La interacción célula-radiación ionizante puede no suceder y si sucede puede o no producir daños.
2. La interacción de la radiación ionizante no elige ningún lugar específico de la célula.
3. Los cambios biológicos se producen en un tiempo determinado dependiendo de la dosis inicial.
4. Los cambios observados en células, tejidos y órganos pueden no ser específicos que va desde minutos hasta semana o años.

Cuando las células absorben radiaciones ionizantes tienen lugar procesos de ionización y de excitación, formándose moléculas estables o inestables o bien radicales libres con lo cual se producen nuevas reacciones bioquímicas con las moléculas contiguas en macromoléculas (ADN, por ejemplo) o bien en el medio acuoso. ⁽¹⁻³⁾

La acción de la radiación sobre la célula puede ser:

-directa

-indirecta

Acción directa: Cuando una partícula ionizante o radiación en general interacciona y es absorbida por una macromolécula biológica como el ADN, ARN, proteínas estructurales, produciendo cambios en su estructura o su función, esto es daño por acción directa.

Acción indirecta: Cuando la radiación ionizante es absorbida por el medio en el que se encuentran suspendidas las moléculas el que fundamentalmente es agua dando lugar a la formación de iones y radicales libres por ejemplo: agua que es H_2O puede liberar radicales $OH\cdot + OH\cdot$ originando H_2O_2 (peróxido de hidrógeno) el cual es tóxico para la célula; así mismo los radicales libres provocan otras reacciones químicas que son factor fundamental para las lesiones celulares y como en la célula hay mas cantidad de agua la probabilidad de una acción indirecta es mayor. ^(4, 10)

Efecto biológico de la radiación X:

La energía radiante puede salvar vidas o ser destructora. No existiendo nada calificable como insensibilidad o hipersensibilidad biológica a los Rayos X. Su efecto puede ser local o directo o bien sistémico o indirecto; mediato o inmediato.

Actúa sobre todos los sujetos vivos, teniendo 3 efectos principales:

- a. Inhiben el crecimiento
- b. Destruyen el tejido epitelial
- c. Producen Inflamación.

Siendo evidente que la acción de los Rayos X es fundamentalmente dañina y el hecho de que el efecto biológico pueda utilizarse para el tratamiento de ciertas enfermedades o afecciones, se debe a que pueden dañar las células enfermas más que las sanas, modificando así favorablemente la proporción entre éstas y aquellas.

Y para que sea biológicamente efectiva, deberá ser absorbida por los tejidos, expresándose la radiación por la ley Biológica Fundamental de Grotthus Craper, que

establece que sólo la energía absorbida puede ser biológicamente efectiva.

La forma más simple de transformación de energía en el cuerpo consiste en generación de calor, pudiendo haber cambios eléctricos y químicos en los tejidos.

(1, 2, 8)

La ionización se da por transferencia de energía que posee la radiación a la materia blanco, incluyendo el desplazamiento de electrones, átomos o moléculas o de ambos; pudiendo causar excitación o aumento de energía de un electrón en un átomo o molécula, "pareciendo" no producir cambios físicos químicos dentro de la célula. Produce ionización de la materia; sin embargo, no se comprende con seguridad como la energía radiante ejerce su efecto biológico sobre la célula. Por lo que hay varias teorías.

- Teorías sobre el efecto biológico.

- a. La teoría fotoquímica de Holthusen: Supone que el efecto biológico consiste en múltiples microrreacciones químicas de naturaleza intracelular e intercelular.

- b. Teoría de la permeabilidad de Liechti: Basada en el supuesto de que el efecto biológico se debe a cambios en la permeabilidad celular.

- c. Teoría del calor puntiforme de Desseauer: Que cree que la energía de radiación consiste en calor puntiforme, es decir: notables incrementos de temperatura en partes microscópicas de la célula.

- d. Teoría del Golpe Directo: de Blau, Alterburger y otros: consideran necesario cierto número de golpes e impactos directos en una célula para producir deterioro biológico. ^(14, 18)

Cualquiera sea el mecanismo, hay una serie de lesiones reconocidas con técnicas histológicas o químicas, que progresan con el tiempo; posiblemente por el almacenamiento de una "información invisible nociva" en las células proliferativas o en el ADN. La cantidad de energía almacenada para provocar mortalidad de 100% de animales, solo eleva la temperatura corporal 0.001 grados. ⁽¹⁴⁾

Importante es el tiempo de aplicación de la dosis, mientras más lentamente se aplique menores serán sus efectos somáticos agudos. Con dosis de radiación altas se ve la muerte rápida de cualquier célula, basándose en signos de necrosis y con dosis más bajas hay trastornos de proliferación celular, dividiéndose con mayor lentitud. En el ADN está afectado su velocidad de síntesis primero y luego las células pueden seguir sintetizando ADN transformándose en polipoides. ⁽¹⁶⁾

La disminución en la producción de células nuevas, en tejido de renovación continua (mucosa, sangre, gónadas, etc.) ocasiona una hipoplasia progresiva hasta la atrofia, dependiendo de dosis radiógena. Algunas células son capaces de dividirse y antes de morir, pasarán por 1 ó 2 ciclos degenerativos, produciendo; metamielocitos gigantes y neutrófilos hipersegmentados. ^(16, 23)

Las varias teorías, demuestran que no está claro de que forma se produce tal efecto. Lo que ocurre primordialmente es ionización producida en las células del

organismo en uno o más sitios, dando lugar a reacciones que finalmente se manifiestan como cambios perceptibles o mensurables microscópicos o macroscópicos.

El número de ionizaciones que han de producirse en una célula para que resulte seriamente afectado es notablemente pequeño. Un miliroentgen (mr) en una célula produce una ionización en ella, con pocas probabilidades de efecto duradero, puesto que el cuerpo tiene varios billones de células. A menudo la célula muere, sin notarse la pérdida o la célula inicia una complejo cadena de impulsos que provocan deterioro biológico, pudiendo el efecto aparecer lentamente o permanecer latente e insospechado y a medida que crecen y se reproducen las células dañadas pueden duplicar o multiplicar los defectos inducidos por la radiación. Produciendo cambios morfológicos y funcionales en células y tejidos; modificando las funciones existentes o haciendo evidentes, las que estaban latentes.

Los efectos pueden ser reversibles e irreversibles; los últimos llamados lesiones por radiación y dependen de la dosis.

El lugar de acción de la radiación es la célula, que es una entidad químicamente compuesta de agua, carbohidratos, proteínas, grasas, minerales, etc. Dessouer considera que pueden afectarse de 1/100 hasta 1/10 de las moléculas de la célula antes de un cambio visible en ellas. (2, 6, 23)

Efectos generales sobre células y tejidos de la radiación X:

Los cambios observados en células irradiadas, puede verse igual que los causados

por agentes microbiológicos tóxicos, calor, frío, lesión isquémica y agentes alquilantes.

La lesión tisular va desde proceso leve y reversible hasta grado irreversible causando la muerte del tejido.

Provoca respuesta inflamatoria general con exudado de leucocitos y líquido en las células, como inflamación aguda no específica. La respuesta más específica es teleatrofia con resistencia disminuida a las infecciones, reparación y atipias o displasias originando cambios morfológicos.

En general, las células son sensibles en proporción directa de su actividad reproductora y en proporción inversa de su nivel de especialización.

Los Rayos X pueden producir células mutantes con potencial maligno.

Los cambios vasculares son prominentes en tejidos irradiados (según dosis) normales y neoplásicos. En el período que sigue a la irradiación, los vasos pueden presentar solamente dilatación, que explica el eritema secundario de la piel.

Más tarde, o con dosis mayores, los vasos pueden romperse, causando hemorragias o trombosarse. Estos cambios vasculares tienen distribución dispersa, siguiendo el curso del mismo vaso. ^(14, 17)

Efectos primario sobre células y tejidos de la radiación X :

Se cree que el efecto primario sea en las proteínas grandes y en el agua celular.

La irradiación de proteínas origina formación de sustancias tóxicas semejantes a la histamina que incluso en cantidades pequeñas, tiene efectos sobre el sistema circulatorio, gastrointestinal y neurovegetativo.

Con 25r hay lesiones evidentes de rápida curación en tejidos linfáticos. ⁽²³⁾

Reacciones morfológicas y Fisiológicas de la radiación X:

El efecto se manifiesta de dos maneras: morfológica o fisiológicamente. Si un prurito desaparece después de irradiación, será cambio fisiológico; si desaparece un tumor es un cambio morfológico; pudiendo ser visible macroscópicamente o microscópicamente. Con dosis pequeñas, los cambios pueden ser imperceptibles y los métodos más modernos son frecuentemente incapaces de revelar un cambio morfológico celular.

Efectos funcionales:

- **Motilidad:**

Puede quedar restringida, suprimida o inalterada. La supresión de la motilidad

es signo de muerte. Si continúa la motilidad, no significa ausencia de lesión (espermatozoides irradiados conservan su motilidad, pero pueden ocasionar monstruosidades).

- **Potencia reproductora:**

Puede estar restringida o suprimida.

- **Crecimiento:**

Está restringido o suprimido. Su efecto es evidente después de un periodo latente, por formación progresiva de materiales metabólicos nocivos; que depende de la intensidad de la radiación y no de la proliferación del tejido irradiado.

- **Metabolismo:**

Hay degeneración adiposa, mucoide o amiloidea. Se reduce el consumo de oxígeno celular. Semeja el metabolismo de una célula tumoral, exceptuando en la disminución del consumo de oxígeno.

- **Permeabilidad:**

Puede estar aumentada o disminuida.

- **Funciones celulares específicas:**

Según la dosis, la energía celular y del tejido se agotan en un periodo más o menos largo de tiempo.

La célula se puede recuperar totalmente o parcialmente si no ha sido lesionada de gravedad.

Algunas veces se convierte en otro tipo de célula, cuyos componentes más importantes son alterados en sentido degenerativo.

Entre los efectos macroscópicos se tiene la inflamación, las papilas y capilares resultan afectados con caída del cabello. Otro efecto es el retardo o la total

detención de la función secretaria de las glándulas sudoríparas y sebáceas. Las glándulas salivales pueden inactivarse (sequedad de la boca, etc.)

Una propiedad especial del efecto de la radiación es su tiempo de latencia o periodo latente, es el que se analiza o consta desde el momento que una persona es irradiada, hasta que aparecen los síntomas o signos clínicos. ^(2, 23)

Restablecimiento biológico:

- a. Restauración morfológica y funcional de la célula (verdadero restablecimiento)
- b. Restauración morfológica y funcional de órganos y tejidos, reemplazando células dañadas, por crecimiento derivado de las que han escapado de la lesión (seudorestablecimiento).

Las células que al microscopio muestran lesión; no se restablecen. La disminución de la temperatura de las células y los tejidos expuestos, provoca una reducción de las lesiones, que puede ser considerada como restablecimiento. ⁽²³⁾

Efectos Somáticos y Genéticos de la radiación X:

Factores Genéticos de la radiación X:

Pueden producirse efectos hereditarios o mutaciones:

- A. Las mutaciones pueden no manifestarse antes de la tercera generación.
- B. El índice de mutación es directamente proporcional a la dosis.
- C. No existe dosis umbral para la aparición de mutaciones. ^(15, 18)

Efectos iniciales y tardíos:

El tiempo de apareamiento de lesiones oscila entre minutos a años, según el proceso patológico, tejido y circunstancias físicas.

Con destrucción de un número elevado de células, hay necrosis que impide la función del órgano, que si es vital produce la muerte; pudiendo ser en pocos días con exposición total única o requerir semanas a meses con niveles bajos. En cuyo caso el sistema hematopoyético es factor que determina la supervivencia. ⁽²¹⁾

Efectos Somáticos:

Los efectos somáticos se refieren a aquellas lesiones experimentadas por las células, que afectan a la continuidad de las funciones del organismo, como sucede en el caso de las células sanguíneas y de la médula ósea.

A continuación se enumeran algunos de los efectos somáticos originados por la exposición a las radiaciones.

Efectos agudos locales:

- a. Lesiones de la piel, eritema, caída del cabello y necrosis de la piel y de los tejidos internos.
- b. Esterilidad temporal o permanente, causada por irradiación de las gónadas.
- c. Reproducción aminorada o anormal de tejidos proliferativos como el epitelio del tracto gastrointestinal y el tejido hematopoyético.
- d. Alteración de las funciones del sistema nervioso y de otros sistemas diferenciado.

Efectos agudos generalizados:

-Síndrome agudo de irradiación.

-Efectos tardíos como consecuencia de una sola exposición intensa o de una exposición crónica:

- a. Lesiones crónicas de la piel, que pueden ser de carácter ulceroso o canceroso.
- b. Cicatrices locales atróficas o procesos distróficos en órganos y tejidos expuesta a una irradiación intensa.
- c. Cataratas del cristalino.
- d. Leucemia.
- e. Osteosarcomas debidos a la irradiación del tejido óseo.
- f. Anemias aplásticas causadas por radiolesiones de la médula ósea.
- g. Cáncer del pulmón, causado por inhalación y depósito de sustancias radioactivas en los pulmones.

- Posibles efectos tardíos (observados en experimentos con animales, pero no en expuesta a una irradiación intensa.

- a. Acortamiento de la vida y envejecimiento prematuro.
- b. Mayor incidencia de los tumores distintos de los ya mencionados.

La relación entre dosis y efecto en la mayoría de los casos, se comprende bastante bien, por lo que hace a los efectos agudos que se producen inmediatamente a razón de la exposición. En general, se puede establecer la dosis y su intensidad mínima, que producirán un efecto apreciable. En cambio, por lo que respecta a los efectos tardíos, se conoce muy poco en la actualidad acerca de esta relación. Para que se

produzcan determinados efectos, como el cáncer de la piel, de los huesos o del pulmón, o cataratas, son necesarias dosis elevadas. (1, 3, 6, 14)

Efecto de las radiaciones ionizantes sobre los acidos nucleicos: (Acido Desoxirribonucleico ADN y Acido Ribonucleico ARN)

Las lesiones o daños en el ADN Y ARN, pueden considerarse muy graves debido a que:

1. El ADN es el encargado de transmitir los caracteres hereditarios.
2. El ADN sirve de molde para la síntesis del ARN mensajero, el cual dirige la síntesis de proteínas y en particular de enzimas.
3. La molécula de ADN es una estructura estable en la vida de la célula, a diferencia de otras sustancias, las cuales se renuevan continuamente.
4. Para la división celular es necesario la duplicación del ADN, el que es muy sensible a la radiación ionizante y entre los daños que puede producir están:
 - a) Ruptura de las cadenas
 - b) Lesiones de las bases
 - c) Lesiones de los azúcares que las conforman.

Estudios de genética han informado que es posible la reparación del ADN a través de enzimas propias, lo cual todavía esta en estudio por lo que se puede afirmar actualmente que la reparación es total o hay alteraciones en las réplicas o formación de proteínas anormales que es lo mas observado. El ARN parece ser más resistente a la radiación ionizante hasta donde se conoce.

Efecto de las radiaciones ionizantes sobre los cromosomas:

Como ya vimos los cromosomas son el soporte de los genes y están constituidos por ADN, ARN, proteínas básicas, proteínas ácidas y otros componentes.

De tal manera que los daños no reparados o mal reparados pueden acá, dar lugar a:

1. División celular con caracteres nuevos.
2. Consecuencias hereditarias (si afectan células germinales).
3. Mutaciones cromosómicas.
 - a) Alteraciones microscópicas.
 - b) Cambios estructurales importantes denominados aberraciones cromosómicas.

Efecto de las radiaciones ionizantes sobre otros elementos celulares

Al parecer el citoplasma de la célula es un poco más tolerante a la radiación ionizante que el núcleo, sin embargo lesiones a los lisosomas pueden liberar enzimas catabólicas con consecuencias fatales a la célula, de igual forma lesiones a la membrana celular, el retículo endoplasmático y las mitocondrias alteran su función con riesgo de muerte.^(4,9)

Radiosensibilidad

Las células inmaduras que se dividen frecuentemente (mitosis celular) sufren mayor alteración que las células maduras diferenciadas que no se dividen (ley de Bergonie y Tribondeu 1906) de tal manera que los tejidos formados por éstas células tendrán características de vida celular corta o larga y por tanto mayor o

menor radiosensibilidad. Tejidos que no tienen mayor renovación celular (sin o con muy poca mitosis celular) tendrán diferente radiorresistencia . Por ejemplo:

1. Tejidos con componentes celulares sin mitosis y ausencia de renovación celular, como el sistema nervioso, médula adrenal o tejido muscular serán más radiorresistentes.
- 2 . Tejidos con bajo índice mitótico y con ausencia o escasa renovación celular, hígado, tiroides, endotelio vascular (vasos sanguíneos) y tejido conectivo (ligamentos y articulaciones) son más radiosensibles.
3. Tejidos con componentes celulares con mayor mitosis y alto grado de renovación celular, Piel (epidermis), epitelio gastrointestinal (estómago e intestino delgado o grueso), médula ósea, gónadas, ojos (cristalino) son mucho más radiosensibles. Acá podría mencionarse el aspecto fundamental del tratamiento de algunos cánceres (Radioterapia).

Respuesta de las células a la agresión

- 1 . RETRASO MITOTICO: Al detenerse el proceso en la fase de síntesis de proteínas necesarias para la división celular o mitosis, se detiene y por tanto menos células entran en división, pero cuando pasa en efecto puede sobrevenir el efecto de rebote o llamado Sobrecarga Mitótica es decir aumenta el número de mitosis por encima del que había antes de la irradiación (Neoplasias).
2. FALLO REPRODUCTIVO: es cuando la célula pierde la capacidad de dividirse por una o más generaciones, muy relacionado con los cromosomas.

3. **MUERTE EN INTERFASE:** se produce antes de entrar la célula en división y puede ocurrir en todas las células de todos los tejidos.
4. **MUERTE INMEDIATA POR NECROSIS:** Esto ocurre con dosis muy altas de radiación ionizante por liquefacción (más frecuente) o coagulación (menos frecuente) de la célula. ^(4,9)

FACTORES QUE INFLUYEN EN ESTA RESPUESTA

1. Factores físicos
2. Factores químicos
3. Factores biológicos

Físicos:

- a) Transferencia lineal de energía (LET-lineal energy transfer) que no es más que la energía depositada por unidad de recorrido de la partícula. La radiación con mayor LET tiene más capacidad de ionización y por tanto es más dañina a la célula.
- b) Eficacia biológica relativa (EBR) es la dosis requerida por radiaciones de distinto LET para producir el mismo efecto biológico. Es decir no todos los organismos son iguales en su respuesta a la radiación.
- c) Tasa de dosis, a mayor tasa de dosis, mayores lesiones, las que fraccionadas permitirían una reparación celular antes de la muerte.
- d) Hipertermia, a mayor calor generado por las partículas de radiación, mayor daño a la célula.

Químicos:

Se ha estudiado la relación fármacos-radiación y se concluyó que los efectos a la célula pueden ser:

- a) Independientes: toxicidad y mecanismos de acción son independientes.
- b) Sinergismo: se potencializa la acción de uno de los dos o los dos, con mayor daño a la célula.
- c) Antagonismo: que puede ser aditivo o multiplicativo según sean efectos y productos de los efectos los que dañen a la célula por el incremento de radicales libres o bien por el bloqueo en el proceso de restauración celular.

Biológicos:

Dos aspectos son los más importantes:

- a) Capacidad de la célula dañada de reparación, lo que tiene estrecha relación con el fraccionamiento de las dosis. Es decir dos dosis separadas en tiempo (media y media dosis) son menos destructoras que la dosis completa en forma única.
- b) La mayor o menor vascularidad se considera por la mayor o menor cantidad de oxígeno que puede recibir la célula. ^(4, 6, 10)

CLASIFICACION DE LOS EFECTOS BIOLOGICOS PRODUCIDOS POR LA RADIACIÓN

Podemos considerar que los efectos son genéticos (que afecta las células germinales o sea que son hereditarios) y somáticos (lesiones corporales que no se transmiten), de igual forma por su incidencia los efectos se clasifican en

estocásticos (efecto genético) y determinísticos (la gravedad de la lesión depende de la dosis).

EFFECTOS ESTOCASTICOS

- a) Son aquellos efectos para los cuales no existe dosis umbral.
- b) La posibilidad de su surgimiento aumenta con la dosis.
- c) Su severidad no varía con el aumento de la dosis y ocurre en un plazo relativamente largo después de ocurrida la exposición.
- d) Son por lo tanto también llamados probabilísticos.

Es importante señalar que los estudios epidemiológicos y experimentales sobre los efectos de las radiaciones se han realizado considerando las exposiciones ocurridas a altas dosis de radiación y se han extrapolado estos resultados a dosis bajas. Por lo tanto se asumido para sus efectos la hipótesis de proporcionalidad y ausencia de umbral.

Son ejemplos de efectos estocásticos:

- Tumores malignos (cáncer, leucemia, carcinoma de piel, pulmón, etc.).
- Efectos genéticos o hereditarios.

EFFECTOS DETERMINISTICOS (NO ESTOCASTICOS)

Son aquellos efectos que se producen a partir de una dosis denominada umbral, la severidad y la frecuencia de estos efectos aumenta con la dosis y la tasa de dosis. También puede asegurarse de acuerdo a la experiencia estudiada que los órganos

con más radiosensibilidad son los que sus células son más proliferativas y con menos grado de diferenciación.

Por su grado de renovación celular los tejidos se clasifican en:

1. Sistemas de renovación rápida (donde la proliferación se produce en días o semanas).
2. Sistemas de renovación condicional (en donde la proliferación es nula o lenta por la longevidad indefinida de las células). ^(4, 10)

SISTEMAS DE RENOVACION RAPIDA:

Los sistemas de renovación rápida son en general los primeros que acusan los efectos de las radiaciones, dado que es necesario que repongan en poco tiempo sus células.

Por ejemplo uno de los sistemas más radiosensibles es el sistema hematopoyético (la sangre y sus precursores) y por su efecto se observa descenso en el número de células funcionales y con esta pérdida de leucocitos hay mayor tendencia a infecciones, así como por la disminución de las plaquetas tendencia a sangrar y la disminución de los glóbulos rojos a la anemia.

Otro ejemplo sería el aparato digestivo, debido a su intensa actividad en la descamación constante de sus células (las que no se dividen) y reposición por nuevos procedentes de las criptas de Lieberkun.

La piel, formada por epidermis de células que no se dividen (en la superficie) y células inmaduras que se dividen (en la base o capa basal).

Por ello la radiación podría producir desde inflamación eritema o descamación seca o húmeda de la piel. Los testículos, contienen células que no se dividen por tanto tienen mayor radiorresistencia (espermatozoides) y células inmaduras que se dividen rápidamente (espermátogonias) más radiosensibles.

Por ello se observan períodos variables de infertilidad, esterilidad temporal y finalmente permanente según las dosis recibidas.

Los ovarios, contenidos en bolsas en forma de sacos llamados folículos, según su tamaño los hay pequeños, intermedios y grandes se ha observado que los primeros son más radiorresistentes, los intermedios menos y los grandes moderadamente. Por ello la exposición a los efectos de la radiación ionizante puede provocar esterilidad temporal o permanente.

Otro ejemplo sería el cristalino de los ojos en el que se puede observar desde opacidad, hasta reducción de la visibilidad por presencia de cataratas.

Es decir para dosis altas recibidas en un tiempo corto el efecto se agudiza y sus efectos clínicos son observables, por ello se ha establecido un límite de dosis absorbida para darnos una orientación sobre la aparición de lesiones. ^(4, 6, 10)

LIMITE DE DOSIS ABSORBIDA PARA EFECTOS DETERMINISTICOS

En diferentes condiciones de exposición (Rayos X y Gamma)

TEJIDO Y EFECTO (GY-AÑO)	DOSIS AGUDA (GY)	DOSIS FRACCIONADA (GY)	TASA DE DOSIS ANUAL (GY)
1. Testículos Esterilidad: Temporal permanente	0.15 3.5 - 6.1	-- --	0.40 2.00
2. Ovarios Esterilidad	2.5-6.0	6.0	0.20
3. Cristalino -Opacidad detectable Reducción de la vista: Catararas	0.5-6.0 5.0	5.0 8.0	0.10 0.15
4. Médula ósea depresión De la (Hematopoyesis)	0.5	--	0.40

Síndromes por radiación:

De acuerdo a la dosis en todo el cuerpo, se pueden distinguir las siguientes formas de síndrome agudo de radiación (SAR):

- HEMATOPOYETICA: Para dosis comprendidas entre 1 -1 0 Gy
- GASTROINTESTINAL: Dosis entre 10-50 Gy .
- NEUROLOGICA: Con dosis superiores a los 50 Gy.

Manifestaciones clínicas del síndrome agudo de radiación (sar):

0.25 Gy: No hay manifestaciones clínicas. Se puede detectar un aumento en la frecuencia de aberraciones cromosómicas en linfocitos.

0.25-1 Gy: Sin síntomas o náuseas transitorias. En sangre disminución de linfocitos, a veces leve reducción del número de plaquetas. Se detectan aberraciones cromosómicas en linfocitos. En algunos pacientes se registran cambios en el electroencefalograma.

Tratamiento: sintomático. Vigilancia médica durante algunos días.

1-2 Gy: Grado leve de la forma hematopoyética. En un porcentaje de los sobreexpuestos se presentan náuseas y vómitos en las primeras horas. A las 6-8 semanas disminuye el número de granulocitos, neutrófilos y plaquetas, pero esta reducción no es suficiente para facilitar infección y hemorragia. Se debe realizar seguimiento hematológico. La mayoría de los pacientes se recupera sin tratamiento.

2-4 Gy: Grado moderado de la forma hematopoyética. La mayoría de los sobreexpuestos presentan náuseas y vómitos luego de 1-2 horas. Los niveles más bajos en el número de neutrófilos y plaquetas se alcanza en 3-4 semanas, acompañados de fiebre y hemorragia. Con las condiciones terapéuticas actuales todos los pacientes se pueden recuperar.

4-6 Gy: Grado severo de la forma hematopoyética. Las náuseas y vómitos aparecen luego de 0.5-1 hora. Hay fiebre y eritema en piel y mucosas. Los

valores más bajos en el recuento de neutrófilos y plaquetas ocurren entre la segunda a tercera semana y persiste durante 2 semanas. Sin tratamiento, la mayoría de los pacientes mueren como consecuencia de hemorragias e infecciones. Sin embargo, si se aplica tratamiento de sostén, la mayoría de los sobreexpuestos tienen posibilidades de recuperación.

6-10 Gy: Grado extremadamente severo de la forma hematopoyética. Las náuseas y vómitos aparecen dentro de los 30 minutos posteriores a la sobreexposición. Un alto porcentaje de sobreexpuestos presentan diarrea en 1-2 horas.

10 Gy o más: Se desarrollan las formas gastrointestinal, cardiovascular y neurológica. Cualquiera fuese el tratamiento aplicado la letalidad es del 100%. (4,6, 10, 14, 23)

EFFECTOS GENÉTICOS

Son los que afectan a la salud de los descendientes del irradiado. Como consecuencia de ello las células de los tejidos germinales pueden sufrir mutaciones que se va a manifestar en las siguientes generaciones así:

- La mayoría de ellas son nocivas

- Son permanentes una vez producidas

- Toda radiación ionizante recibida por una célula germinal tiene probabilidad de producir mutación.

RESPUESTA ORGANICA TOTAL A LA RADIACION

La respuesta total viene determinada por la respuesta combinada de todos los sistemas orgánicos a la radiación. De ahí que se hable de: respuesta del adulto y del embrión o feto.

La respuesta de un organismo adulto a una exposición aguda de Rayos X, Gamma o neutrones (5 minutos por ejemplo) de todo el organismo puede producir un cuadro clínico conocido como síndrome de irradiación, el que se divide en tres etapas:

- a) Prodrómica con signos y síntomas inespecíficos como náusea, vómitos, diarreas o simple mal estar, de unos minutos a varios días,
- b) Latente en la que hay ausencia de síntomas.
- c) De enfermedad manifiesta, en donde aparecen síntomas concretos de los sistemas lesionados, variando desde minutos hasta semanas.

La respuesta del embrión o feto. Antes de que el huevo se implante en la mucosa del útero hay alta mortalidad. Una vez implantado, cuando se inicia la diferenciación celular en la fase de organogénesis se producen anomalías estructurales y deformidades. La radioresistencia del feto aumenta durante la última fase de su desarrollo, por ello las anomalías más graves son durante las ocho primeras semanas de embarazo y dosis tan bajas como 0.1 Gy pueden producir la muerte del embrión o durante el período de organogénesis malformaciones y trastornos del crecimiento como resultado de muerte de células vitales. La irradiación durante el período comprendido entre las 9 y 25 semanas puede provocar retardo mental.

EFFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES DURANTE EL DESARROLLO PRENATAL

- Dependen del período en el cual se produzca la exposición a las radiaciones ionizantes.
- La alta radiosensibilidad de las células del embrión y del feto se debe al alto proceso de diferenciación y división que estas tienen.
- En experimentación con animales dosis umbral de 0.1 Gy producen el aborto espontáneo en un 30-50 % de los embarazos.
- Entre los 20 días y las 8 semanas se producen malformaciones en el sistema nervioso.
- Dosis entre 0.05 y 1 Gy en el período comprendido entre las 8 y 15 semanas provocan retardo mental severo.
- La dosis umbral de 40.1^{-2} Gy producen efectos estocásticos.
- Entre las 15 - 25 semanas y hasta el final del embarazo se produce la reducción del crecimiento fetal, con una dosis umbral de 0.1 Gy. ^(4, 6, 15, 23)

FENOMENOS DE RESTABLECIMIENTO

Las células pueden eliminar compuestos tóxicos por dos mecanismos:

- a) Por medios mecánicos realizados por reacciones químico-reversibles dando lugar a la restauración morfológica y función celular.
- b) Por restauración de tejidos y órganos, reemplazando las células dañadas por células normales. ⁽¹⁰⁾

G. MAGNITUDES Y UNIDADES UTILIZADAS EN RADIO PROTECCION

Una magnitud física es la caracterización de un fenómeno físico en forma susceptible de especificación numérica.

Una unidad es una muestra de referencia de una magnitud, y constituye una escala numérica para esa especificación.

Como ejemplo de magnitud puede ser la temperatura, cuya especificación numérica puede ser expresada en grados centígrados, o grados kelvin. Asimismo la magnitud longitud, que tiene como especificación numérica el metro y los diferentes múltiplos y submúltiplos en que puede ser expresada. Los múltiplos y submúltiplos, son letras que se colocan como factores, delante de las unidades para abreviar la multiplicación por potencias de 10, tal como se describe en la tabla que se presenta a continuación.

FACTOR	NOMBRE	FACTOR	NOMBRE
$10^3 = 1000$	Kilo	$10^{-3} = 0.001$	Mili
$10^6 = 1\ 000\ 000$	Mega	$10^{-6} = 0.000\ 001$	Micro
$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$	Giga	$10^{-9} = 0.000\ 000001$	Nano
$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$	Teta	$10^{-12} = 0.000\ 000\ 000\ 001$	Pico

MAGNITUDES Y UNIDADES DOSIMETRICAS

Las magnitudes dosimétricas sirven para proporcionar una medida física en un punto de una región de interés, que esté correlacionada con los efectos reales o potenciales de las radiaciones ionizantes. La magnitud dosimétrica fundamental es la dosis absorbida, ya que relaciona con otros factores y parámetros, permite hacer evaluaciones del daño que puede causar la radiación en el ser humano, esta magnitud se usa para fines terapéuticos. Otra magnitud importante es el kerma, ya que mediante la determinación de kerma pueden establecerse las magnitudes que se llaman operacionales y que son usadas con fines de control en la limitación de dosis para personal ocupacionalmente expuesto y público. ^(18, 19)

DOSIS ABSORBIDA

Esta magnitud es muy importante, ya que es una indicación de la cantidad de energía absorbida por unidad de masa de un material irradiado. La dosis absorbida es una función puntual, y es continua y diferenciable, por lo que cabe referirse a su gradiente y a su tasa. El valor de la dosis absorbida puede especificarse para cualquier medio y para cualquier tipo de radiación ionizante. La unidad utilizada para especificar la dosis absorbida es J.kg^{-1} , y recibe el nombre especial de gray (Gy).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

DOSIS EQUIVALENTE:

Cuando se requiere hacer estimaciones sobre el daño que produce la radiación en un tejido, órgano o en el cuerpo humano en general, es necesario recurrir a algunos factores para la determinación cuantitativa del daño.

Como cada tipo de radiación tiene una capacidad diferente de ionización, para estimar el daño en un tejido u órgano, debido a un tipo de radiación determinado se utiliza un factor de ponderación de la radiación W_R , el cual se multiplica por la dosis absorbida, para obtener, de esta manera, la dosis equivalente, H . La dosis equivalente se expresa de acuerdo a la ecuación presentada a continuación:

$$H_{T,R} = W_R D_{T,R}$$

donde $D_{T,R}$ es la dosis promedio debida a la radiación R , en el tejido u órgano T y W_R es el factor de peso de la radiación. Ya que W_E es adimensional, la unidad en el SI (Sistema Internacional) es la misma que para la dosis absorbida, es decir Joule/Kg, y el nombre especial es el Sievert (Sv).

DOSIS EFECTIVA

La relación entre la probabilidad de efectos dañinos a la salud humana, de carácter aleatorios y la dosis equivalente, varia con el órgano o tejido irradiado, razón por la cual se define una magnitud más, que es la dosis efectiva. La dosis efectiva, E , es

la suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo, se expresa como:

$$E = \sum W_T, H_T$$

Donde H_T es la dosis equivalente en un órgano o tejido y W_T es el factor de ponderación para el tejido T, este factor depende de la radiosensibilidad de un tejido u órgano en particular.

La dosis efectiva se expresa en J/Kg y como W_T es adimensional la unidad especial es el Sievert (Sv). En la tabla que se presenta en la siguiente pagina se proporcionan los factores de ponderación, W_T para los diferentes órganos y tejidos.

TIPO Y RANGO DE ENERGIA ACTOR DE PONDERACIÓN	W_T
Gónada	0.20
Médula roja de los huesos	0.12
Colon	0.12
Pulmones	0.12
Estomago	0.12
Vejiga	0.05
Pechos	0.05
Hígado	0.05
Esófago	0.05
Tiroides	0.05
Piel	0.01
Superficie de hueso	0.01
Resto del cuerpo	0.05

KERMA:

Cuando se consideran partículas indirectamente ionizantes, como los fotones, conviene también describir la energía liberada por ellas al interaccionar con la materia. Esta magnitud kerma (Energía Cinética liberada en el material, expresada a veces por unidad de masa).

La diferencia entre el kerma y la dosis absorbida es que, ésta depende de la energía promedio absorbida en la región de interacción (local) y el kema depende de la energía total transferida al material. Esto significa que, de la energía transferida, una parte es disipada por la radiación de frenado, otra en forma de luz o Rayos X característicos, durante la excitación de los átomos que interactúan con los electrones producidos en las ionizaciones.

EXPOSICION:

Esta magnitud, se aplica solo a fotones que interaccionan con el aire y es el cociente

$$X = dQ/dm$$

donde dQ es el valor absoluto de la carga total de los iones de un signo producida en aire, cuando todos los electrones liberados por los fotones en aire de masa dm quedan completamente frenados en el aire. La unidad es $C.kg^{-1}$. De todas maneras, aún se sigue usando bastante la unidad especial de exposición, el roentgen (R).

$$1 R = 2,58 \times 10^{-4} C.kg^{-1}$$

La exposición, según se ha definido anteriormente, es el equivalente, en términos de ionización, del kerma en aire, con la diferencia de que no incluye la ionización ocasionada por la absorción de la radiación de frenado emitida por los electrones.
(18, 19, 21)

MAGNITUDES OPERACIONALES

Las magnitudes operacionales han sido definidas mediante mediciones prácticas, tanto para monitoreo individual como de área. Tienen como base la dosis equivalente en un punto dentro de un maniquí (fantoma) o en el cuerpo, están relacionadas al tipo y energía de la radiación existente en ese punto y pueden, por lo tanto, calcularse físicamente mediante una magnitud radiométrica denominada fluencia.

DOSIS EQUIVALENTE AMBIENTAL

La magnitud que relaciona la irradiación externa con la dosis efectiva y la dosis equivalente, con propósitos de monitoreo de áreas, es la dosis equivalente ambiental. Para propósitos de protección Radiológica de rutina, es deseable caracterizar el potencial de irradiación de los individuos en términos de la dosis equivalente que existiría en un fantoma que se asemejara lo mas posible al cuerpo humano. El fantoma usado para este fin se denomina esfera ICRU, cuyo diámetro es de 30 cm y esta compuesta de material equivalente al tejido humano.

La dosis equivalente ambiental, $H^*(10)$, en un punto de un campo de radiación, es la dosis equivalente que se produciría por un campo expandido y alineado, en la esfera ICRU a una profundidad, d , sobre el radio opuesto al campo de radiación alineado. La unidad especial es el Sv, [J/kg].

El termino alineado y expandido significan que, para fines prácticos, los fotones inciden paralelamente y en una sola dirección sobre la esfera ICRU. Los instrumentos diseñados para medir esta magnitud son los monitores de área tipo Geiger-Muller, y deben tener una respuesta isotrópica, es decir responder igual en todas direcciones.

DOSIS EQUIVALENTE PERSONAL

La dosis equivalente personal, $H_p(d)$, es la dosis equivalente en tejido suave, a una profundidad apropiada, d , en el punto especificado en el cuerpo. El nombre especial de esta unidad es el Sv, (Sievert), [J/kg].

La dosis equivalente personal se mide con un detector personal, el cual puede ser de tipo film o termoluminiscente (TL). Estos detectores (dosímetros personales) deben portarse en la superficie del tronco del cuerpo y deben estar especialmente diseñados con filtros para poder determinar las dosis, así como las energías de la radiación con que fueron expuestos. Para la calibración de estos dosímetros se utiliza normalmente un fantoma (bloque de 30 cm x 30 cm x 15 cm) lleno de agua, que simula el tronco humano, para tomar en cuenta la radiación de retrodispersión producida por el cuerpo humano.⁽¹⁹⁾

UNIDADES DE ENERGIA [eV]

Las unidades de energía de la radiación y de las magnitudes ligadas al átomo y núcleo se expresan normalmente en electrón-Volt (eV). Un electrón Volt (eV), es la energía cinética adquirida por un electrón al ser acelerado por una diferencia de potencial eléctrico de 1 volt. ^(18, 19)

$$1\text{MeV} = 1\,000,000\text{ eV} = 1.6 \times 10^{-13}\text{ JouleG.}$$

H. FILOSOFIA DE LA PROTECCIÓN RADIOLOGICA

Cuando se trata de la exposición a radiaciones ionizantes, el simple cumplimiento de los límites no es suficiente demostración de un procedimiento satisfactorio.

Es por ello que el sistema de protección radiológica recomendado por la Comisión Internacional de Protección Radiológica, CIRP, para la adopción o la continuación de una práctica se basa en los siguientes principios fundamentales:

- justificación
- optimización
- limitación

Los tres principios se aplican a la exposición ocupacional y a las exposiciones potenciales.

Justificación:

La formulación del principio de justificación es la siguiente: "Ninguna práctica que entrañe la exposición de los individuos a las radiaciones ionizantes debe ser admitida, a menos que su introducción, comparada con el detrimento que provoca, produzca suficiente beneficio a las personas expuestas o a la sociedad".

El principio de justificación se aplica a cualquier práctica y tipo de exposición, así como a la intervención y en su aplicación influyen muchos factores, entre ellos, los sociales y políticos, siendo las consideraciones radiológicas normalmente las que desempeñan un papel secundario. Ello se explica porque cualquier decisión humana implica una elección entre varias opciones posibles y su fin es obtener algún beneficio apreciable. Cuando se trata de exposición real o potencial a la radiación, la decisión sobre la admisión o la continuación de una práctica debe incluir la evaluación del beneficio desde todos los puntos de vista, de modo que se logre un compromiso entre su eficiencia y sus consecuencias. Al aplicar la justificación a una práctica propuesta para su admisión o continuación se deben incluir las exposiciones potenciales en la evaluación del detrimento asociado.

Para aclarar este principio, en las Normas Básicas de Seguridad del Organismo Internacional de Energía Atómica, se ofrece una orientación sobre las prácticas injustificadas. Entre ellas figuran las que ocasionarían un aumento de la cantidad de sustancias radiactivas presentes en alimentos, bebidas cosméticos u otros artículos o productos destinados a su ingestión, inhalación, aplicación o

incorporación cutánea en seres humanos, excepto con fines médicos; también figuran las prácticas que entrañan el uso de las radiaciones en artículos como juguetes, joyas, o adornos.

Algunas exposiciones médicas como los exámenes masivos de grupos de población con técnicas que impliquen riesgos de exposición y los exámenes radiológicos con fines ocupacionales legales o de seguro médico se consideran injustificados a no ser que se espere que las ventajas previstas compensan el detrimento radiológico. Los exámenes radiológicos con fines de detección de robos también se estiman injustificados y en caso de realizarse, deberán estar sujetos a los requisitos sobre exposición ocupacional del público prescritos por las normas.

Optimización:

El principio de optimización se formula: en relación con una fuente o práctica, la magnitud de las dosis, el número de personas expuestas y las exposiciones potenciales deben mantenerse tan bajas como razonablemente pueda alcanzarse, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales, con la condición de que se apliquen restricciones a las dosis causadas por la fuente.

Al igual que el principio de justificación, el de optimización se aplica a cualquier práctica y tipo de exposición, así como a la intervención. El concepto de optimización de la protección radiológica entraña la selección del nivel de protección apropiado, o sea, decidir cómo utilizar los recursos para proteger partiendo de una comparación de parámetros, de los cuales, los más importantes son: el daño total que se ocasiona medido a través de la dosis individual colectiva y el costo de la protección. En exposiciones potenciales, la evaluación total del daño

previsto tiene en cuenta el número de personas afectadas, la probabilidad de ocurrencia de la exposición y el nivel de dosis calculado para ellas, así como todos los esfuerzos, incluidos los costos, necesarios para aumentar la seguridad. Si un mayor esfuerzo en la seguridad se traduce en una reducción significativa de la dosis o el riesgo, ello significa que la protección ha sido optimizada.

Para las exposiciones normales es indispensable que la optimización se aplique durante el diseño de la fuente o práctica y durante su operación. El análisis de la optimización debe comprender:

- a) Todas las operaciones que se realizan con el generador.
- b) La forma en que se realizan dichas operaciones (a que distancia, en que posición, durante que tiempo, entre otros).
- c) Los datos de las mediciones realizadas de tasa de dosis, la contaminación y de dosis individual.
- d) La variación de los resultados de las mediciones en diferentes períodos de tiempo, entre diferentes trabajadores y entre grupos, así como sus causas.
- e) Las medidas correctivas adoptadas, su frecuencia y resultados, la disponibilidad de recursos para la protección y seguridad.
- g) El uso que se da a los recursos existentes.
- h) El nivel de preparación y entrenamiento del personal.
- i) El grado de exigencia en el cumplimiento de los requerimientos de parte de cada uno.
- j) Los fallos e incidentes ocurridos, sus causas y consecuencias, el efecto de las medidas de protección radiológica sobre otros factores de riesgo.

Para optimizar la protección radiológica podemos hacer uso de los siguientes factores que nos van a proteger de la radiación externa:

- distancia
- tiempo
- blindaje

Estos tres factores pueden ser utilizados conjuntamente en forma combinada, para reducir las dosis de los trabajadores y del público. A continuación se describe rápidamente y de manera práctica la forma de aplicar dichos factores.

Distancia:

La radiación ionizante en el aire viaja en línea recta. En tales circunstancias, la radiación emerge de una fuente radiactiva y la tasa de dosis disminuye con el inverso cuadrado de la distancia de la fuente al punto de interés.

Por ejemplo: si

La tasa de dosis medida a 1 m es 400 mili Sievert

La tasa de dosis esperada a 2 m es 100 mili Sievert

La tasa de dosis esperada a 10 m es 4 mili Sievert

La tasa de dosis esperada a 20 m es 1miliSievert

La distancia influye grandemente en la reducción de la tasa de dosis.

Tiempo:

La dosis de radiación es proporcional al tiempo que se permanece en el campo de radiación. Cuando se trabaja en áreas de radiación se debe trabajar rápido y

eficientemente. Es importante que los trabajadores no se distraigan con otras tareas o en conversaciones. El trabajador muy rápido puede originar errores. Esto implica más tiempo para llevar a cabo la tarea y por ende una mayor exposición del trabajador.

Ejemplo:

Si su detector portátil lee 5 mili Sievert en un punto dado, usted recibirá una dosis de 5 mSv en 1 hora, 10 mSv en 2 horas, 15 mSv en 3 horas y así sucesivamente. De tal manera, si solamente permanece en el lugar 0.5 de hora, recibirá una dosis de 2,5 mSv.

Blindaje:

El blindaje como principio de protección radica en la interposición de barreras adecuadas y apropiadamente ubicadas en la dirección del haz de radiación. La tasa de dosis en un punto, a una distancia dada de la fuente no se deberá únicamente a la radiación primaria que llega del objeto de estudio, también existe la radiación secundaria que ha sido dispersada y que contribuye a la tasa de dosis.

Los blindajes deben ser eficaces según la radiación a la que se va a interponer la barrera, ya que como es sabido existen diferentes clases de radiaciones: alfa, beta, gama y Rayos X. ^(6, 14)

Tipos de blindaje:

Para partículas Alfa (α) :

Para este tipo de radiación, en caso de usar algún blindaje, esta radiación se frena mucho más rápido, por lo que podemos decir que una simple hoja de papel es

suficiente para blindar la radiación alfa. Incluso la misma ropa frena este tipo de radiación.

Para partículas Beta (β):

La penetración de estas partículas es mayor por tener una masa más pequeña, que la masa de las partículas alfa, lo que indica que entre mayor sea la densidad o el número másico Z de un material, menor será la penetración y en consecuencia menor el espesor de material usado para frenar las partículas beta.

La radiación beta puede presentar riesgos de contaminación e irradiación externa. Para la radiación beta sí se necesitan blindajes, pues estas partículas pueden alcanzar hasta varios metros en aire. Para frenar estas partículas, se puede usar como material blindaje plástico, vidrio, aluminio, entre otros. ⁽⁶⁾

Para radiación Gamma y Rayos X:

La atenuación de los Rayos X y gamma por un material absorbente es el resultado de una combinación del efecto fotoeléctrico, efecto compton y de formación de pares. Debido a esto, los materiales o sustancias de número atómico alto como el plomo y hierro son los blindajes más eficientes. También se utiliza el concreto armado.

Los Rayos X y los Rayos Gamma son radiaciones electromagnéticas de longitud de onda muy corta, no existe diferencia alguno entre los Rayos X y los Gamma, excepto por lo que respecta a su origen. Mientras que los Rayos Gamma son emitidos con energías discretas características del nucleido formado, la emisión de los Rayos X puede ser de dos tipos, radiación característica (energía discreta) y

radiación de frenado o Bremstrahlung (espectro continuo de energías). Los Rayos X característicos se producen en transiciones entre los niveles energéticos de los electrones internos de un átomo; y la emisión de los rayos Gamma obedece a transiciones del núcleo de estados energéticos superiores a inferiores. ^(1,6)

Limitación:

El principio de limitación establece que: la exposición resultante de todas las prácticas relevantes estará sujeta a límites de dosis o al control de los riesgos de tal manera que se asegure que el individuo no sea expuesto a niveles inaceptados.

A bajos niveles de dosis solo se manifiestan efectos estocásticos y su probabilidad de ocurrencia se asume directamente proporcional a la dosis. Esta hipótesis lineal de la relación dosis-respuesta establece que a cualquier incremento de la dosis le corresponderá un incremento de la probabilidad de un efecto. Ante estas consideraciones, la elección de límites cuantitativos no es tarea fácil y se basa en criterios no solo sanitarios, sino también sociales. El límite es un nivel de dosis o de riesgo cuyas consecuencias estén lejos de ser consideradas inaceptables. En otros términos, el límite de exposición puede ser definido como el entorno entre lo inaceptable y lo tolerable para unas condiciones dadas.

El límite se expresa como la dosis recibida uniformemente en toda la vida o como dosis anual se define como el punto a partir del cual la exposición ocupacional regular extensiva y deliberada puede razonablemente ser solo tolerable.

Los límites de dosis para la exposición ocupacional y para los miembros del público especificados en la tabla que se presentará a continuación, se aplican a las prácticas, con excepción de las exposiciones médicas y de las exposiciones causadas por fuentes naturales, que puedan ser razonablemente sometidas a control legal. Estos límites no son de aplicación para el control de las exposiciones potenciales ni para adoptar decisiones sobre si ha de producirse una intervención y la manera de realizarla. Como se observa, la exposición ocupacional se limita, en condiciones normales a:

Una dosis efectiva de 20 mSv por año promediada con respecto a 5 años consecutivos.

Una dosis efectiva de 50 mSv en un solo año.

Una dosis equivalente en el cristalino de 150 mSv en un solo año.

Una dosis equivalente en las extremidades (manos y pies) de 500 mSv en un año.

Los límites de dosis se aplican a la suma de dosis causadas por exposición externa en el período especificado y a las dosis comprometidas causadas por incorporación durante el mismo período. El período para el cálculo de las dosis comprometidas será normalmente de 50 años para los adultos y de 70 para las incorporaciones en niños.

En circunstancias especiales como la intervención, la dosis acumulada por un trabajador del grupo interventor pudiera alcanzar hasta 100 mSv en un solo año siempre que dicha exposición estuviera justificada por la dosis evitada.

Para los miembros del público el límite de dosis efectiva se reduce a 1 mSv al año.

Las dosis equivalentes en el cristalino y en la piel continúan siendo la décima parte de las admitidas para la exposición ocupacional. En circunstancias especiales, se admite una dosis efectiva para los miembros del público de hasta 5 mSv en un año, siempre que la dosis medida en cinco años consecutivos no sea superior a 1 mSv por año y esa dosis, en circunstancias especiales, sea expresamente autorizada por la autoridad reguladora. (6, 14)

LÍMITES DE DOSIS PARA LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL Y PÚBLICO

	Exposición Ocupacional	Exposición del público
DOSIS EFECTIVA	20mSv por año Como promedio en Un período de 5 años. En un solo año no debe exceder de 50 m Sv	1mSv por año Como promedio en 5 años.
DOSIS EQUIVALENTE		
Cristalino del ojo	150 mSv por año	15 mSv por año
Piel (local)	500 mSv por año	50 mSv por año
Manos y pies	500 mSv por año	50 mSv por año

PROTECCION RADIOLOGICA EN EL USO DE RAYOS X

El gran y creciente número de equipos de Rayos X utilizados en Radiología Diagnóstica es de por sí factor suficiente para justificar la necesidad y la importancia de Protección Radiológica en esta área.

En estudios realizados en este tipo de trabajo han demostrado que la gran mayoría de las exposiciones innecesarias tanto de pacientes como de los propios profesionales y técnicos, pueden ser fácilmente evitadas y corregidas a través de medidas y acciones simples y permanentes de Protección Radiológica y Control de Calidad.

Entre esas acciones resaltamos la más importante y eficiente: el entrenamiento y la actualización técnica de los profesionales directa o indirectamente vinculados con la Radiología.

RESPONSABILIDADES DEL TECNICO DE RAYOS X

En lo que respecta la Protección Radiológica, el técnico de Rayos X juega un papel preponderante, pues a él corresponde:

1. Decidir los parámetros de la exposición del paciente
2. Preparar y posicionar al paciente
3. Comandar las exposiciones inherentes al examen en pauta
4. Decidir si la imagen obtenida tiene calidad aceptable o si es necesaria otra exposición.

Observando esos cuatro items, vemos que un error del técnico podría implicar lo siguiente:

- 1 . Repeticiones de las exposiciones
2. Irradiación del paciente con un campo de radiación mayor que el necesario irradiando innecesariamente áreas fuera del objeto de estudio
3. Producción de imágenes sin calidad diagnóstica (llevando inclusive a diagnósticos erróneos), que en todos lo casos llevan a una exposición innecesaria del paciente, de los profesionales y del público o sea fallas de protección radiológica. ^(6, 14)

ACCIONES PRACTICAS PARA CONTROLAR LAS DOSIS

- 1 Recordar que en pacientes de gran tamaño, las tasas de dosis serán mayores.
2. Mantener la corriente del tubo lo mas baja posible.
3. Mantener el kVp lo mas alto posible (con mAs lo más bajo posible) para conseguir un apropiado compromiso entre calidad de la imagen y baja dosis al paciente.
4. Mantener el tubo de Rayos X lo mas alejado posible del paciente.
5. No abusar de la magnificación.
6. Siempre usar la máxima colimación.
7. el personal debe usar delantales plomados, barreras protectoras, y saber donde colocarse para recibir menos dosis.
9. Mantener el tiempo de emisión del haz de Rayos X en el mínimo posible.

ELEMENTOS DE PROTECCION

Se denominan elementos de protección a todo lo que permita reducir dosis, en pacientes, personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y Público en general. Dentro de esta definición general se incluye además de los elementos tangibles a los factores operacionales y disposiciones administrativas que contribuyan al mismo fin. Con referencia al ICRP, establece muy claramente en cuanto a los elementos de protección "Los sistemas locales y cualquier otra infraestructura deberán ser intrínsecamente seguros tomando como factor secundario la capacitación del personal técnico a cargo de la operación del equipo".

Los elementos de protección pueden clasificarse de acuerdo al siguiente criterio.

1. Elementos físicos
2. Factores operacionales
3. Elementos administrativos

1. **ELEMENTOS FISICOS:** estos serán todos los dispositivos materiales que limiten la dosis en el universo al que quiere llegar la protección pueden ser de diferente tipo:
 - a. Inherentes al equipo
 - b. De aplicación al sujeto de la protección
 - c. Elementos estructurales

INHERENTE AL EQUIPO: al referirse a esta clase de elementos es bueno diferenciar los que están ubicados en el tubo, accesorios y los que se encuentran en diferentes partes del equipo. Los diseños modernos de Ánodos Rotativos,

nuevas estructuras de la sección anódica y motores de hasta 15000 r.p.m. permiten cargas intensas con tiempos muy reducidos, esto favorece a garantizar la calidad de la información de la imagen radiológica, elimina la posibilidad de duplicación de exposición para una misma toma, este elemento y la nueva filosofía sobre su diseño ha permitido reducciones importantes en las dosis por examen y por paciente. La estructura de los nuevos puntos focales o focos, pistas anódicas con características y angulaciones, han permitido una mejora sustancial en la claridad y nitidez de las radiografías, los factores de carga eléctrica y como consecuencia las dosis han disminuido sustancialmente con los diseños modernos de tubos emisores.

La calota es un elemento primordial de protección, sin ella la radiación isotrópica producida en el tubo irradiaría en todas las direcciones interactuando sin justificación con la estructura del paciente, no tiene interés desde el punto de vista radiológico, también se sometería a los Rayos x al radiólogo que en algún tipo de exámenes deberá permanecer junto al paciente. Gran cantidad de rayos son retenidos en esta primera barrera y su acción es importante para canalizar el haz útil mediante la ventanilla y los diafragmas. Ellos delimitan el campo a irradiarse restringiendo la acción del haz primario únicamente a las zonas de interés (cuando no existen diafragmas un cono limita el campo). La caja de diafragmas, los conos y un cilindro cuya superficie interna tiene una delgada lámina de plomo, permite mantener una distancia mínima foco, piel, contribuyendo de una forma importante a la reducción de la dosis superficial. En la salida del haz útil se encuentra generalmente un filtro de aluminio, el cumple una función importante de reducir los fotones de energías bajas, estos contribuyen únicamente a la generación de dosis en piel sin ningún aporte para la información radiológica. Un filtro de 2

mm de aluminio atenúa el 100% de los fotones de 10 Kev y el 82% de los fotones de 20 Kev, en cambio se atenúan únicamente el 23% de los fotones de 40 Kev. Con el filtro de 3 mm se atenúa el 100% de los fotones de 10 a 20 Kev, el 32%-de 40Kev y 22% de 50 Kev. Generalmente, suelen existir filtros adicionales que se colocan a continuación de la caja de diafragmas ellos se emplean cuando la técnica de al Kv es requerida (sobre los 100 Kv), los filtros permiten un desplazamiento en la media de energía hacia valores más altos, logrando una disminución de dosis, ya que una mayor cantidad de radiación remanente llegará a las películas por lo tanto el producto $mA \times t$ podrá reducirse, sin deterioro de la calidad de imagen. (4, 6, 10, 14)

El desarrollo de sistemas de rectificación producen corrientes que llegan a ser de casi potencial constante, esto ha permitido lograr rendimiento muy alto en los sistemas de producción de Rayos X con disminución de los factores de exposición, las consecuencias sobre las dosis recibidas son eficientes. Actualmente se disponen diseños de última generación. Ellos disponen un sistema que permite tomar la tensión de red y convertirla a una de varios kiloercios de acuerdo con la potencia de exposición requerida (frecuencia alta para radiografías). El convertidor es un sistema transistorizado que conecta y desconecta la exposición regulando al mismo tiempo en forma ultrarrápida el valor de la tensión, dando lugar a parámetros de exposición exactos con tolerancias reducidas que a su vez son condición imprescindible para la buena calidad permanente de la imágenes. El principio de la técnica de alta frecuencia presente en los equipos desarrollados durante esta última década incluye un sistema de doble rectificación, uno al principio y otro al final del procesamiento de la corriente con un dispositivo de inversión de alta frecuencia.

El equipo deberá disponer de señales audibles y/o luminosas para alertar que el sistema está produciendo Rayos X en lo que respecta al sistema que acciona la exposición, este debe tener un diseño que opera únicamente bajo presión, interrumpiéndose la generación de radiación cuando la presión sea inexistente. Existen algunos equipos odontológicos que permiten disparos múltiples, con sólo presionar el pulsante.

DE APLICACIÓN AL SUJETO DE LA PROTECCION: en un sentido general serán los implementos que el trabajador ocupacionalmente expuesto (TOE) y paciente deberán utilizarlos para lograr una reducción de dosis.

TRABAJADOR OCUPACIONALMENTE EXPUESTO (TOE):

1. Gabachas plomadas, con espesor equivalente en plomo de 0.25 mm para empleo generalmente Médico u Odontológico .
2. Gafas (lentes) de vidrio plomado, con espesores entre 0.25mm a 0.50mm.
3. Monitoreo personal (Dosímetro personal).

PARA EL PACIENTE:

1. Gabachas plomados de diferente espesor.
2. Protectores gonadales (ambos sexos).
3. Collarines plomados.

Existen otros elementos individuales que sin pertenecer a los que disponen de blindaje sin embargo, contribuyen de una manera eficiente a eliminar exposiciones por repetición de tomas debido fundamentalmente a movimiento del paciente:

1. Sujetadores de cráneo.

2. Inmovilizadores en general.
3. Sujetadores e inmovilizadores para radiología pediátrica.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES: al referirse a elementos estructurales de la protección se refiere a todo aquello que integrando parte de la infraestructura permite la retención de los Rayos X, disminuyendo los niveles de exposición a valores que se encuentran bajo los límites máximos permitidos para: personal ocupacionalmente expuesto, pacientes y público en general. Al referirse a pacientes hay que hacer una aclaración, debido a que hay casos de salas que disponen de varios equipos y que a su vez pueden operarse todos al mismo tiempo dependiendo de las necesidades y requerimientos, por tal motivo la infraestructura de estas salas múltiples deberán disponer de barreras primarias y secundarias tales que el nivel de exposición o provoquen dosis adicionales a los pacientes que están ubicados en lugares adyacentes.

Las barreras estructurales se clasifican en dos tipos: primarias y secundarias, dependiendo si su objeto es el recibir radiación primaria o secundaria, por esta razón el espesor de las mismas serán diferentes y de acuerdo al nivel de exposición. Dentro de este tipo se podrán englobar a paredes, pisos, cielos rasos, techos, puertas, ventanas, mamparas que pueden ser de cualquier material que reduzca a niveles aceptables la exposición de los Rayos X. Es importante mencionar especialmente el vidrio plomado empleado para blindar ventanas de comando, estos varían entre 0.50mm y 2 mm de plomo equivalente.

FACTORES OPERACIONALES: los factores operacionales son el conjunto de elementos que constituyen las técnicas radiológicas. De este punto de vista la

calificación del personal que realiza práctica radiológica, es fundamental ya que una misma calidad radiológica en muchos casos pueden conseguirse con dosis menores. La selección adecuada de parámetros: Kv, mA y t y parámetros como la angulación adecuada, distancia foco-piel, diafragmación, permiten suministrar una exposición indispensable para cada necesidad, siempre logrando el diagnóstico, optimizando los parámetros para conseguir la mejor información y la menor exposición.

En caso de los equipos odontológicos es importante mantener una distancia mínima entre el operador y el paciente, cuyo valor está entre los 1.5 y 2 metros, ya que debido a la energía y cantidad de rayos no hace falta una barrera entre el operador y el tubo.

Con respecto a la diferente posición que debe el paciente optar para una técnica, se deberá lograr que en cada una de ellas sea tal que la dosis en otro órganos o partes cuyo interés radiológico escapen al estudio sea la mínima posible.

ELEMENTOS ADMINISTRATIVOS DE LA PROTECCION: se define como elementos administrativos de la protección a todas las normativas, disposiciones reglamentaciones mediante las que en una forma directa o indirecta se limitan las dosis en los diferentes grupos de interés. (4, 6, 10, 14)

I. DETECTORES DE RADIACION

PRINCIPIO DE DETECCION:

Uno de los sistemas más comunes empleados en la detección de las radiaciones ionizantes, se basa en la recolección de iones que produce la

radiación al interaccionar con la materia. El dispositivo adecuado para coleccionar los iones consiste en disponer de dos electrodos o placas paralelas cargados para que los iones se dirijan a ellos y sean coleccionados, usando un gas como medio de interacción.

CLASIFICACION DE LOS DETECTORES

Detectores por

IONIZACION O INMEDIATOS:

Cámara de Ionización

Contadores Proporcionales

Geiger-Müller

Detectores de Neutrones

DETECTORES POR EXITACION:

Inmediatos: Centelleo Liquido

Retardados: Película fotografica

Termoluminiscentes

CAMARA DE IONIZACION:

Consta de una cámara cilíndrica que contiene aire como volumen sensible a presión y temperatura normal y una varilla metálica como electrodo central.

El número e iones coleccionados dentro de la cámara es igual al número de iones que produce la radiación incidente.

CONTADOR PROPORCIONAL:

Su esquema de construcción es similar al de la cámara de ionización, con la diferencia principal que el electrodo principal es un alambre delgado.

Una partícula que penetra al interior del cilindro, ioniza el gas y libera portadores de carga eléctrica.

El contador proporcional permite obtener dos informaciones respecto a una fuente:

- Tasa de conteo, proporcional a la actividad.
- Amplitud del pulso, proporcional a la energía de la partícula.

GEIGER-MÜLLER:

Tiene el mismo esquema del contador proporcional, el principio de operación del tubo GM es tal que permite hacer una variedad de tipos.

La configuración del tubo GM generalmente es cilíndrica con el electrodo colector montado coaxialmente. El gas usado para el llenado el tubo es un gas noble (Helio).

DETECTORES POR EXITACION:

CENTELLEO:

El detector de centelleo transduce la energía de una partícula radiactiva en un destello luminoso (no detectable por ojo humano).

Estos detectores están constituidos por cristales de Yoduro de Sodio Activados con Talio.

El principio consiste en que un electrón excita los electrones orbitales de átomos del cristal, esto produce la emisión de fotones cuyo número es proporcional a la energía disipada en el cristal por la radiación incidente. ^(12, 17, 19)

PELICULA FOTOGRAFICA:

La película contiene especialmente Bromuro de Plata, con emulsiones de diferente sensibilidad, para permitir mayor margen de detección.

La radiación atraviesa la emulsión, libera electrones que forman una imagen latente, que hace que se reduzcan los cristales de bromuro de plata en el revelado. Al revelar el film, la zona expuesta a radiaciones aparece más oscura. De acuerdo con la densidad óptica del velado, se puede calcular la dosis absorbida por el individuo.

TERMOLUMINISCENCIA (TLD):

Expuesto a radiaciones ionizantes y calentado gradualmente, un compuesto TLD emite luz, cuyo valor máximo de energía luminosa permite cuantificar las dosis absorbidas. Se utiliza principalmente como TLD, cristales de Fluoruro de Litio, Fluoruro de Calcio y Sulfato de Calcio. ⁽¹⁹⁾

OBJETIVO GENERAL

Determinar el nivel de radiación dispersa en ambientes contiguos al aparato de Rayos X de clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala, así como evaluar los conocimientos sobre protección y seguridad radiológica que posee el personal ocupacionalmente expuesto.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- A) Medir la radiación dispersa o secundaria que al realizar una toma radiográfica se detecta en los alrededores de la sala de Rayos X.
- B) Medir la radiación secundaria que por toma radiográfica se detecta en el lugar donde se ubica el operador al accionar el aparato de Rayos X.
- C) Evaluar el conocimiento que el operador de Rayos X posee sobre protección y seguridad radiológica.
- D) Evaluar las características del equipo utilizado para la toma de radiografías dentales.
- E) Evaluar el equipo de protección y seguridad radiológica empleado.

VARIABLES

- a. Nivel de radiación dispersa
- b. Nivel de conocimientos sobre protección y seguridad radiológica

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

- c. **Nivel de radiación dispersa:** Grado de radiación disipada producida por la interacción del haz primario proveniente del tubo de Rayos X con la materia. Medido por cámaras de ionización, contadores proporcionales y Geiger Müller. Su dimensional es el Grey. Los resultados de la radiometría de sitios colindantes al aparato de Rayos X, donde se ubica tanto el operador como los pacientes en sala de espera y público en general durante las exposiciones radiográficas debe de ser cero, ya que si el equipo radiométrico detecta radiación dispersa en estos lugares se puede rebasar la dosis absorbida mínima anual, que es de 20 miliSievert.
- d. **Nivel de conocimientos sobre protección y seguridad radiológica:** Grado de comprensión sobre medidas que evitan la sobreexposición a radiaciones ionizantes de personas cercanas al generador de radiación por parte de los operadores del aparato de Rayos X. Durante el estudio se evaluó con el instrumento "Cuestionario Sobre Protección y Seguridad Radiológica" (ver anexos).

METODOLOGÍA

A) PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

A.1) POBLACIÓN

El universo de la investigación corresponde al total de clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala que por poseer equipo de Rayos X se encuentran en la lista de clínicas licenciadas y en proceso de licenciamiento (pre-licenciamiento), de la Dirección General de Energía, dependencia del Ministerio de Energía y Minas de la república de Guatemala hasta el año 2002.

A.2) DISEÑO Y TAMAÑO DE LA MUESTRA

- Se utilizó la fórmula para determinar el tamaño de una muestra cuando se realiza un muestreo con reemplazo a partir de una población finita:

$$n = \frac{N^2 z^2 \sigma}{d(N-1) + z^2 \sigma^2}$$

Donde n es igual al tamaño de la muestra

N: es igual al tamaño de la población, en este caso 211

Z: es igual al coeficiente de confiabilidad; si se quiere que sea del 0.99, según la tabla de valor crítico para coeficientes de confianza, tamaños de la muestra y grados de libertad, z corresponde al valor de 2.60.

σ es igual a la varianza, estimándose para una distribución normal: 6.

d es igual al intervalo de amplitud hacia uno y otro lado de un valor real,

calculándose en este caso 2.5. Al resolver la ecuación tenemos que el tamaño de la muestra es de tamaño 33 clínicas.

A.3)SELECCIÓN DE LA MUESTRA:

La selección de la muestra se realizó por medio de un muestreo aleatorio simple con reemplazo.

PROCEDIMIENTO

Se seleccionó una muestra de forma aleatoria de la población de clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registradas en el Ministerio de Energía y Minas de este mismo país, que cuentan con aparato de Rayos X. Al contar con el listado de las clínicas a visitar se realizó la calendarización de supervisiones por parte del grupo de inspectores de dicho Ministerio, al cual el investigador acompañó para realizar el estudio, contando desde ya con el aval de la Dirección de la Institución.

Anterior a la visita se anunció la supervisión a las clínicas dentales escogidas, con fecha y hora.

Al llegar a cada una de las clínicas dentales seleccionadas se procedió a la descripción del equipo de Rayos X, instalaciones donde se encuentran, así como sus colindancias, el equipo de protección y seguridad radiológica. Posteriormente se midió la radiación de fondo en distintos sitios alrededor de la sala de Rayos X y en el sitio donde se ubica el operador en el momento de accionar el aparato de Rayos X, utilizando para esto contadores proporcionales, cámaras de ionización y Geiger Müller (equipo especializado de la Dirección General de Energía). Después

se efectuó la medición de radiación dispersa en los sitios donde antes se realizó la radiometría de fondo. Para imitar la constitución de un paciente en el momento de la exposición radiográfica se utilizó un recipiente con agua (fantoma), que actuó como materia incidente del rayo principal de radiación, produciendo la radiación secundaria que el equipo radiométrico puede detectar. Si se detectó radiación dispersa se estimó la radiación absorbida según la carga de trabajo de cada clínica dental, la fórmula será expuesta en la descripción del instrumento I.

Todos estos datos se recopilaron en el instrumento llamado : “Guía de Inspección del Departamento de Protección Radiológica”, del Departamento de Protección y Seguridad Radiológica, dependiente de la Dirección General de Energía, del Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala. (Ver anexos).

Durante la realización de la radiometría se efectuó una evaluación sobre conocimientos de protección y seguridad radiológica, tanto del odontólogo, así como de las personas que operan los aparatos de Rayos X. Para esto se utilizó el instrumento “Cuestionario Sobre Conocimientos de Protección y Seguridad Radiológica”, avalado por la Jefatura del Departamento de Protección y Seguridad Radiológica del Ministerio de Energía y Minas. (Ver anexos).

INSTRUMENTO I:
GUIA DE INSPECCION
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA
AREA DE RAYOS X

Durante las inspecciones a clínicas licenciadas y en proceso de licenciamiento para poder operar aparatos de Rayos X Dentales se utiliza el instrumento: "Guía de Inspección Departamento de Protección Radiológica Area de Rayos X". Este también fue utilizado en el presente estudio.

Previo a obtener los datos de radiometría, características del equipo de Rayos X, del espacio físico tanto de la sala de Rayos X, como de sus colindancias y de las cualidades del equipo de protección y seguridad radiológica, se notificó previamente al odontólogo sobre la fecha y hora de la visita, así como se solicitó su consentimiento para realizar el estudio.

Se acompañó al equipo de inspectores de la Dirección de Energía del Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala durante las inspecciones a clínicas dentales ubicadas en la ciudad capital.

El instrumento no contó con el nombre del odontólogo, tampoco dirección de la clínica, ni las de sus colindancias.

El resultado de los hallazgos fue favorable si las medidas de protección y

seguridad radiológica son suficientes para impedir la detección de radiación dispersa en ambientes fuera del salón de Rayos X.

Sin embargo si alguna medición de radiación dispersa fue detectada es posible hacer una estimación para saber si es probable que la radiación absorbida anual puede sobrepasar la dosis de seguridad de 20 mili Sievert. Se describe a continuación:

Las cámaras de ionización miden la radiación dispersa en Grey/hora; debido a que la medición de radioactividad en las clínicas dentales es mínima el aparato es calibrado para que mida la energía en microGrey/hora (μ grey).

En seguridad radiológica 1 Sievert es igual a 1 Grey, por lo tanto 1miliSievert es igual a 1 miliGrey, de ésta forma la medición en microGrey es transforma a miliSievert para estimar la dosis absorbida por toma radiográfica, esto se logra multiplicando la lectura del aparato por 10^3 . Sin embargo las condiciones en que se da la medida, así como la tasa de trabajo de cada clínica son diferentes, por eso se deben de considerar variables como: número de exámenes al día, días de trabajo por semana, miliamperios y tiempo utilizado por exposición. Si dividimos la tasa de seguridad máxima anual que son 20 miliSievert en su porción correspondiente a cada semana, tenemos que semanalmente no se deben de superar los 0.4 miliSievert de dosis absorbida para el trabajador ocupacionalmente expuesto, así tampoco se debe sobrepasar en sitios donde se encuentra el público en general los 10 miliSievert anuales, que representan 0.2 miliSievert/semana.

Tomando esto en cuenta se toma la medida de radiación leída, se multiplica por 10^3 para transformar las dimensionales de microGrey a miliSievert y se determina la carga de trabajo (W) de cada clínica particular de acuerdo a la formula que se presneta en la siguiente pagina:

$$W = \frac{\text{No. de exámenes}}{\text{Día}} \times \frac{\text{días de trabajo}}{\text{semana}} \times \frac{\text{aM} \times \text{seg. (máximos)}}{\text{examen}} \times \frac{1 \text{ min.}}{60 \text{ seg.}}$$

Determinando la carga de trabajo (W) se procede a calcular la fórmula para estimar dosis de radiación absorbida a partir de detección de radiación dispersa, la cual es:

$$\text{Radiación absorbida} = \frac{\text{Radiación dispersa en miliGrey}}{\text{Hora}} \times W \times \frac{1 \text{ examen}}{\text{aM}} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} \times 1.2 \text{ (constante)}$$

Donde la constante 1.2 es una medida de temperatura y presión atmosférica utilizada por el Departamento de Calibración del Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala.

De esta manera obtenemos la radiación absorbida estimada en miliSievert/semana. Sin embargo se debe hacer notar que el resultado es un aproximado, debido a que la dosis absorbida se mide especialmente con dosímetros, ya sea del tipo de termoluminiscencia o de película fotográfica.

INSTRUMENTO II
CUESTIONARIO SOBRE CONOCIMIENTOS
DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOGRÁFICA

Después de llenar los datos del instrumento 1, se procedió a realizar el instrumento: "Cuestionario sobre Conocimientos de Protección y Seguridad Radiológica", por parte del odontólogo, así como del personal auxiliar que opere el aparato de Rayos X en las clínicas dentales de la ciudad de Guatemala.

El cuestionario posee ocho preguntas de selección múltiple, sin factor de corrección, con sólo una opción correcta por cada pregunta. Se contó con diez minutos para contestarlo.

Un resultado de entre cero y cinco preguntas correctas se consideró como un nivel de conocimientos no aceptable; un resultado de entre seis y siete como aceptable, y un resultado de ocho como excelente.

El cuestionario no contó con el nombre del que lo contesta, como tampoco la dirección de la clínica donde labora.

Las literales correctas del cuestionario según el número de la pregunta son las siguientes:

1 E, 2 C, 3 C, 4 D, 5 B, 6 A, 7 E, 8 C.

RECURSOS

A) EQUIPO Y MATERIALES INSTITUCIONALES (Ministerio de Energía y Minas, República de Guatemala)

- a. Expedientes de clínicas dentales con licencia y en proceso de licenciamiento para operar equipo de radiación X ubicadas en la ciudad de Guatemala.
- b. Vehículos
- c. Combustible para el desplazamiento.
- d. Contadores proporcionales
- e. Cámaras de ionización
- f. Geiger-Müller
- g. Recipiente de agua (fantoma)
- h. Guía de Inspección, Departamento de Protección Radiológica
- i. Cuestionario Sobre Conocimientos de Protección y Seguridad Radiológica.

B) RECURSOS HUMANOS

- a. Inspectores del Departamento de Protección y Seguridad Radiológica, dependencia de la Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala.
- b. Odontólogo practicante a cargo de la investigación.
- c. Asesores de tesis de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

RESULTADOS

La muestra de la investigación se realizó de forma aleatoria con reemplazo, tomando en cuenta las clínicas dentales que poseen aparatos de Rayos X y que están incluidas en el registro de clínicas licenciadas y en proceso de licenciamiento, en el Departamento de Protección y Seguridad Radiológica, dependencia de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala hasta el año 2002.

De los 33 aparatos de Rayos X examinados en dichas clínicas dentales se observa que dentro de la muestra estudiada el 21.21% estuvo integrado por tubos de Rayos X de marca Corix, seguida de un 18.18% de tubos de marca Siemens y otros de menor porcentaje.

La mayoría de aparatos presentaron una capacidad máxima de kilovoltaje entre el rango de 70 a 79 Kpv (45.45%), y un miliamperaje máximo que comprendía 8 aM (33.33%); así como un tiempo límite de 4 segundos de exposición (54.55%). (Ver cuadros 1, 2, 3 y 4).

La mayor parte de odontólogos adquirió el equipo de Rayos X nuevo (60.60 %), de éstos (un total de 20 clínicas), 11 dan servicio al aparato sólo cuando es necesario. Por otro lado de los equipos que se adquirieron de segundo uso (40.40%) solamente uno tiene un servicio de mantenimiento periódico. (Ver cuadro No. 5).

Se encontró que 13 de 33 de odontólogos laboran entre 40 y 50 horas a la semana. Además predominan los profesionales que toman de 11 a 15 radiografías a la semana (27.27%), aunque también se destacó el porcentaje que realiza de 6 a 10 y de 16 a 20 roentgenogramas semanalmente (21.21 y 24.24 % respectivamente). (Ver cuadros No. 6).

Las colindancias más frecuentes del salón de Rayos X son: la sala de espera (15.64%), pasillos (12.17%) y la clínica dental (11.30%). (Ver cuadro No. 7).

Las paredes de las clínicas dentales están construidas con más frecuencia de block con divisiones de plywood (21.21%), únicamente de block (18.19%) y de block con divisiones de tablayeso (15.15%). (Ver cuadro No. 8).

La mayoría de salas de Rayos X no poseen rotulación sobre protección radiológica (51.52%). (Ver cuadro No. 9)

La mayoría de clínicas dentales utiliza barreras protectoras; 48.49% posee una gabacha plomada, 15.15% tiene dos. El 90.91% de estas gabachas se encuentran en buen estado. Sin embargo ninguna clínica tiene cortinas ni lentes plomados. Y sólo el 6.06% tiene cuellos plomados. (Ver cuadros No. 10 y 11).

La mayoría de operadores realizan sus tomas radiográficas con un kilovoltaje máximo de entre 70 y 79 Kpv. (36.41%), seguido del rango entre 60 y 69 Kpv. (34.11%). Además la mayor parte de los equipos de Rayos X es utilizado con miliamperaje máximo de 8 aM (41.18%), seguido de 7aM (31.76%). En cuanto al

tiempo límite por exposición es utilizado el rango de entre 0.6 a 1 segundo (51.76%). (Ver cuadros No 12, 13 y 14).

En la mayor parte de las clínicas dentales se detecta radiación dispersa en al menos uno de los ambientes contiguos al aparato de Rayos X (63.64%). De igual forma predomina la detección de radiación dispersa en el sitio donde se ubica el operador en el momento de la exposición radiográfica (51.52%), así como donde se localiza el público en general (59.52%). (Ver cuadros No. 15 y 16).

El rango más frecuente de radiación dispersa detectado tanto en el sitio donde se ubica el operador como donde se encuentra el público en general es de entre 3×10^{-4} a 9×10^{-3} miliGrey/hora; en el caso de la ubicación del operador se encontró el 47.06%; por otro lado se halló en el sitio del público en general este rango en un 51.61%. Además de esto, aplicando la fórmula para estimar una dosis de radiación absorbida de acuerdo a la carga de trabajo de cada clínica, se obtuvo que la medida más frecuente estuvo dentro del rango de 1×10^{-6} a 9×10^{-5} miliSievert/semana para el público en general con 64.52%; para el operador fue el rango de 1×10^{-4} - 9×10^{-3} miliSievert/semana con 52.94%. (Ver cuadro No.17).

Los porcentajes de los odontólogos que respondieron correctamente con respecto a las interrogantes del Cuestionario Sobre Protección y Seguridad Radiológica son los siguientes:

- 1) ¿Cuál o cuáles de los siguientes órganos es o son radiosensibles?
100%. (Ver cuadro No. 18).
- 2) ¿Qué exámenes nos permite sospechar inicio de daño por absorción de

- dosis de radiación crónica? 90.91%. (Ver cuadro No. 19).
- 3) ¿Porqué es importante la distancia del operador respecto al generador de Rayos X? 100%. (Ver cuadro No. 20).
 - 4) ¿Qué efectos en el organismo puede producir la radiación ionizante? 100%. (Ver cuadro No. 21).
 - 5) Con respecto al tiempo de exposición podemos decir que: 96.97%. (Ver cuadro No. 22).
 - 6) ¿Por qué es importante el blindaje durante la exposición a Rayos X? 93.94%. (Ver cuadro No. 23).
 - 7) ¿Con qué personas las medidas de seguridad radiológica deben de ser más estrictas? 96.97%. (Ver cuadro No.24).
 - 8) ¿Al hablar de los Rayos X de diagnóstico dental cual de las siguientes afirmaciones es incorrecta? 75.76%. (Ver cuadro No. 25).

CUADROS DE LA GUIA DE INSPECCION
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN Y
SEGURIDAD RADIOLOGICA
AREA DE RAYOS X

Cuadro No. 1

Marca del tubo generador de rayos x de clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

Marca del Tubo	(f)	%
Trophy	2	6.06
Corix	7	21.21
Gendex	2	6.06
Yoshida	3	9.09
Phillips	2	6.06
Minident	1	3.03
Toshiba	1	3.03
Panpas	2	6.06
Siemens	6	18.18
CIAS dental	1	3.03
Davi Atlante	1	3.03
Chirana	1	3.03
X-Mind System	1	3.03
Weber	2	6.06
Belmont	1	3.03
Total	33	100

f = frecuencia

Fuente: Datos obtenidos del trabajo de campo

Cuadro No. 2

Kilovoltaje máximo del equipo de Rayos X de clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

Kpv	(f)	%
≤50	7	21.21
51-60	12	36.36
61-70	14	42.43
71-80	0	0
80 o más	0	0
Totales	33	100

f = Frecuencia

Kpv = Kilovoltaje

Fuente: Datos obtenidos del trabajo de campo

Cuadro No. 3

Miliamperaje máximo del equipo de Rayos X de clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

aM	(f)	%
≥5	9	27.27
6-7	14	42.42
8-9	10	30.30
10 o más	0	0
Totales	33	100

f = Frecuencias

aM = Miliamperaje

Fuente: Datos obtenidos del trabajo de campo

Cuadro No. 4

Tiempo Máximo de Exposición del Equipo de Rayos X de Clínicas Dentales Ubicadas en la Ciudad de Guatemala Registrados en el Ministerio de Energía Y Minas Hasta el Año 2002.

TIEMPO EN SEGUNDOS	(f)	%
1	0	0
2	0	0
3	5	15.15
4	18	54.55
5	10	30.30
Totales	33	100

f = frecuencias

Fuente: Datos obtenidos del trabajo de campo

Cuadro No. 5

**Proveedor y mantenimiento del equipo de Rayos X de clínicas dentales
ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y
Minas hasta el año 2002.**

PROVEEDOR	TIEMPO DE MANTENIMIENTO			TOTAL	%
	6 meses - 1 año	1.1 año – 1.5 años	Solo cuando es necesario		
Equipo nuevo	8	1	11	20	60.60
Equipo usado	1	0	12	13	40.40
Totales	9	1	23	33	100

Fuente: Datos obtenidos del trabajo de campo

Cuadro No. 6

Horas de trabajo semanal relacionados con el número de radiografías periapicales tomadas a la semana en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

No. DE RX.	HORAS TRABAJADAS POR SEMANA						TOTAL	%
	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	≥51		
1-5	0	1	0	2	1	0	4	12.12
6-10	0	1	1	2	3	0	7	21.21
11-15	2	1	1	1	2	2	9	27.28
16-20	0	1	0	1	4	2	8	24.24
21-25	0	0	0	1	1	0	2	6.06
26-30	0	0	0	0	2	0	2	6.06
31-35	0	0	0	0	0	0	0	0
36-40	0	0	0	0	0	0	0	0
≥41	0	0	0	0	0	1	1	3.03
Totales	2	4	2	7	13	5	33	100

Fuente: Datos obtenidos del trabajo de campo

Cuadro No. 8

**Características del material de construcción de las paredes del salón de Rayos
X de clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el
Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.**

MATERIALES	(f)	%
Block	6	18.19
Ladrillo	3	9.09
Block - Plywood	7	21.21
Block – Carton Piedra	2	6.06
Block – Ladrillo	1	3.03
Block – Azulejo	2	6.06
Block – Tabla yeso	5	15.15
Ladrillo-concreto-plywood	2	6.06
Block – Concreto	1	3.03
Ladrillo – Cartón piedra	1	3.03
Block – Durpanel	3	9.09
TOTAL	33	100

f= frecuencia

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 8

**Características del material de construcción de las paredes del salón de Rayos
X de clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el
Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.**

MATERIALES	(f)	%
Block	6	18.19
Ladrillo	3	9.09
Block - Plywood	7	21.21
Block – Carton Piedra	2	6.06
Block – Ladrillo	1	3.03
Block – Azulejo	2	6.06
Block – Tabla yeso	5	15.15
Ladrillo-concreto-plywood	2	6.06
Block – Concreto	1	3.03
Ladrillo – Cartón piedra	1	3.03
Block – Durpanel	3	9.09
TOTAL	33	100

f= frecuencia

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 9

Rotulación sobre seguridad radiológica en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

ROTULACION	No.DE CLINICAS	%
SI	16	48.48
NO	17	51.52
TOTALES	33	100.00

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No.10

Existencia y cantidad de barreras protectoras en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

TIPO DE BARRERA	CANTIDAD DE BARRERAS						TOTA L
	0		1		2		
	No.	%	No.	%	No.	%	
Gabachas	12	36.36	16	48.49	5	15.15	33
Cortinas	33	100	0	0	0	0	33
Cuellos	31	94.94	2	6.06	0	0	33
Lentes	33	100	0	0	0	0	33

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 11

Estado de las gabachas plomadas de clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

N	Bueno		Malo	
	f	%	f	%
21	18	90.91	3	9.09

N = número de gabachas plomadas

f = frecuencias

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 12

Determinación de la cantidad de clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002 donde existen niveles de radiación dispersa y radiación de fondo.

TIPO DE RADIACIÓN	CLINICAS DENTALES	
	f	%
Fondo	12	36.36
Dispersa	21	63.64
Totales	33	100

f = frecuencias

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 13

Determinación de detección radiación de fondo y radiación dispersa en el lugar donde se encuentra ubicado el operador y el público en general por toma radiográfica en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

Número	Radiación de fondo		Radiación dispersa	
	f	%	f	%
Operador	16	48.48	17	51.52
Público en general	21	40.38	31	59.52

f = frecuencias

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No.14

Kilovoltaje máximo utilizado en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

KILOVOLTAJE MAXIMO	f	%
50-59	25	29.41
60-69	29	34.11
70-79	31	36.48
TOTALES	85	100

f = frecuencia

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 15

Miliamperaje máximo por exposición en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

Miliamperaje	f	%
6	5	5.88
7	27	31.76
8	35	41.18
9	4	4.71
10	14	16.47
TOTALES	85	100

f = frecuencia

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No.16

Tiempo máximo por exposición en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

TIEMPO	f	%
0.0 – 0.5	12	14.12
0.6 – 1.0	44	51.76
1.1 – 1.5	15	17.65
1.6 – 2.0	4	4.71
2.1 – 2.5	8	9.41
2.6 – 3.0	2	2.35
TOTALES	85	100

F = frecuencia

Fuente: Datos obtenidos del trabajo de campo

Cuadro No. 17

Nivel de radiación dispersa y estimación de dosis absorbida detectados en el sitio donde se ubica el operador y el público en general en el momento de una toma radiográfica en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.

TIPO DE RADIACIÓN		UBICACION			
		OPERADOR		PUBLICO	
		(f)	%	(f)	%
RADIACIÓN DISPERSA (miliGrey/hora)	$3 \times 10^{-4} - 9 \times 10^{-3}$	8	47.06	16	51.61
	$1 \times 10^{-2} - 9 \times 10^{-1}$	6	35.30	11	35.48
	1-3	3	17.64	4	12.91
	TOTAL	17	100.00	31	100.00
RADIACIÓN ABSORBIDA ESTIMADA (miliSievert/semana)	$1 \times 10^{-6} - 9 \times 10^{-5}$	5	29.41	20	64.52
	$1 \times 10^{-4} - 9 \times 10^{-3}$	9	52.94	8	25.80
	$1 \times 10^{-2} - 7 \times 10^{-1}$	3	17.64	3	9.68
	TOTAL	17	100.00	31	100.00

Fuente: Datos obtenidos del trabajo de campo

**CUADROS DEL CUESTIONARIO SOBRE
CONOCIMIENTOS DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD
RADIOLOGICA**

Cuadro No. 17

¿Cuál o cuáles de los siguientes órganos es o son radiosensibles?

ORGANO	(n)	%
Corazón	0	0
Gónadas	0	0
Médula Ósea	0	0
Cristalino Ocular	0	0
Gónadas, Médula Ósea y Cristalino Ocular	33	100
No respondió	0	0
Totales	33	100
ORGANO	(n)	%
Corazón	0	0
Gónadas	0	0
Médula Ósea	0	0
Cristalino Ocular	0	0
Gónadas, Médula Ósea y Cristalino Ocular	33	100
No respondió	0	0
Totales	33	100

n=número de respuestas

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 18

¿Qué exámenes nos permite sospechar inicio de daño por absorción de dosis de radiación crónica?

TIPO DE EXAMEN	(n)	%
Electrocardiograma	0	0
Examen de heces y orina	0	0
Examen sanguíneo	30	90.91
Examen pulmonar	0	0
Ninguna de las anteriores	1	3.03
No respondió	2	6.06
Totales	33	100

n = número de respuestas

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 19

¿Porqué es importante la distancia del operador respecto al generador de Rayos X?

IMPORTANCIA DE LA DISTANCIA	(n)	%
Permite tener mejor visualización del área a irradiar	0	0
Si el operador está muy cerca puede distorsionar la radiografía	0	0
Mientras mas lejos se encuentre el operador del generador de Rayos X, menos radiación dispersa absorberá	33	100
El Operador siempre debe de estar cerca del paciente para cerciorarse que no se mueva, así como tampoco cambie de lugar el aparato de Rayos X.	0	0
La distancia no es importante	0	0
No sabe, no respondió	0	0
Totales	33	100

n = número de respuestas

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 20

¿Qué efectos en el organismo puede producir la radiación ionizante?

EFFECTOS	(n)	%
Cáncer	0	0
Defectos genéticos en futuras generaciones	1	3.03
Abortos espontáneos	0	0
Todas las anteriores	26	78.79
Cáncer y defectos genéticos en futuras generaciones	6	18.18
No sabe, no respondió	0	0
Totales	33	100

n = Número de respuestas

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 21

Con respecto al tiempo de exposición podemos decir que:

TIEMPO MÁXIMO	(n)	%
En cuanto mayor sea el tiempo de exposición la radiografía tendrá mejor imagen.	0	0
En cuanto menor sea el tiempo de exposición el operador y el paciente recibirán menos radiación	32	96.97
Es preferible alargar el tiempo de exposición para reducir el tiempo de revelado de la película	0	0
Si se prolonga el tiempo de exposición se reducirá la radiación dispersa	0	0
El tiempo y número de exposiciones no influye en la dosis de radiación absorbida, sino la intensidad de la radiación	0	0
No sabe, no respondió	1	3.03
Totales	33	100

n = número de respuestas

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 22

¿Por qué es importante el blindaje durante la exposición a los Rayos X?

IMPORTANCIA DEL BLINDAJE	(n)	%
Porque protege a la persona de dosis potencialmente malignas para su organismo	31	93.94
Porque permite una mejor nitidez de la imagen de la radiografía	0	0
Porque evita interferencias electromagneticas en el momento de la toma radiográfica	0	0
Los Rayos X penetran cualquier barrera, por lo que el blindaje no es importante	0	0
Porque permite una mejor nitidez de la imagen de la radiografía y porque evita interferencias electromagneticas en el momento de la toma radiográfica	1	3.03
No sabe, no respondió	1	3.03
Totales	33	100

n = número de respuestas

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 23

¿Con qué personas las medidas de seguridad radiológica deben de ser más estrictas?

TIPO DE PERSONAS	(n)	%
Personas de la tercera edad	0	0
Adultos	0	0
Mujeres embarazadas	0	0
Niños	0	0
Mujeres embarazadas y niños	32	96.97
No sabe, no respondió	1	3.03
Totales	33	100

n = número de respuestas

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

Cuadro No. 24

¿Al hablar de los Rayos X de diagnóstico dental cuál de las siguientes afirmaciones es incorrecta?

AFIRMACIÓN INCORRECTA	(n)	%
Puede afectar permanentemente la información de ADN en las células	2	6.06
Debe de prevenirse la radiación secundaria utilizando barreras protectoras	1	3.03
Después de un exposición Rayos X, la radiación continua emanando de los objetos alcanzados por ésta.	25	75.76
Luego de exposiciones en los ojos que exeden los límites de radiación absorbida para el operador ocupacionalmente expuesto, los Rayos X pueden ocasionar cataratas.	3	9.09
Hay tres principios de protección radiológica; distancia, tiempo y blindaje	1	3.03
No sabe, no respondió	1	3.03
Totales	33	100

n = número de respuestas

Fuente: Datos obtenidos en el trabajo de campo

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

DE RESULTADOS

En la muestra aleatoria simple con reemplazo correspondiente al registro de clínicas dentales ubicadas en la ciudad capital de Guatemala, incluidas en el registro de clínicas licenciadas y en proceso de licenciamiento del Departamento de Protección y Seguridad Radiológica, dependencia de La Dirección de Energía, Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala, se encontró que las marcas del tubo de Rayos X de preferencia entre los odontólogos son: Corix con un 21.21%, seguida de la marca Siemens con 18.18%.

La mayoría de aparatos presentaron una capacidad por exposición máxima de kilovoltaje entre el rango de 70 a 79 Kpv (45.45%), y un miliamperaje máximo que comprendía 8 aM (33.33%); así como un tiempo límite de 4 segundos de exposición (54.55%). Todas estas características permiten calidad de imagen radiográfica en toma de radiografías periapicales. En materia de protección y seguridad radiológica es de especial importancia el tiempo de exposición por examen, el cual está determinado por el kilovoltaje, el miliamperaje, así como el tipo de película que se utiliza.

La mayor parte de odontólogos adquirió el equipo de Rayos X nuevo (60.60%), de éstos (un total de 20 clínicas), 11 dan servicio al aparato sólo cuando es necesario. Por otro lado de los equipos que se adquirieron de segundo uso (40.40%) solamente uno tiene servicio de mantenimiento periódico. Es de notar que los equipos que se obtuvieron nuevos reciben más mantenimiento periódico con

respecto a los de segundo uso (9 de 20 clínicas). Sin embargo el servicio periódico de mantenimiento es indispensable para el correcto funcionamiento del equipo de Rayos X; primero analizando si el componente eléctrico está calibrado, después comprobando el estado del tubo de Rayos X, en el cual el principal desperfecto es el desajuste del punto focal emisor.

Con respecto al tiempo que laboran los odontólogos a la semana se encontró que trabajan en su parte mayor entre 40 y 50 horas a la semana (13 de 33 odontólogos). Además predominan los profesionales que toman de 11 a 15 radiografías a la semana (27.27%), aunque también se destacó el porcentaje que realiza de 6 a 10 y de 16 a 20 roentgenogramas semanalmente (21.21 y 24.24 % respectivamente). Según los hallazgos encontrados el número de radiografías tomadas es directamente proporcional a las horas de trabajo laboradas en las clínicas dentales. Es decir que a más horas de trabajo mayor cantidad de radiografías fueron tomadas. Según indicaciones de los mismos odontólogos.

Así mismo se determinó que el aparato de Rayos X colinda más frecuentemente con: la sala de espera (15.64%), pasillos (12.17%) y la clínica dental (11.30%). En ocasiones el aparato de Rayos X se encuentra dentro de la clínica dental y a veces, cuando existe, en la sala de Rayos X, por esta razón sus colindancias pueden ser la sala de espera o el mismo espacio clínico operatorio. En éstos espacios contiguos fue donde más frecuentemente se realizaron los estudios radiométricos.

Observando las paredes y divisiones que se encuentran entre los espacios aledaños y el generador de radiación se evidenció que los materiales de

construcción más utilizados en las clínicas dentales fueron: block con divisiones de plywood (21.21%), únicamente de block (18.19%) y de block con divisiones de tablayeso (15.15%). Los materiales óptimos para la construcción de salas de radiación son el concreto y el plomo, existe el conocimiento del uso de una pintura especial a base de sulfato de bario, no obstante la experiencia de los inspectores del Ministerio de Energía y Minas en sitios donde se utilizó no ha sido muy satisfactoria, debido probablemente a que no existe en Guatemala un distribuidor que garantice la calidad del material. Según indicaciones de los inspectores para la construcción de una sala de Rayos X dental sería ideal emplear ladrillo macizo (no el hueco tradicionalmente utilizado).

Al realizar la inspección visual de las salas de Rayos X se halló que cerca de la mitad (48.48%) poseen rótulos sobre seguridad radiológica y la mayoría (51.52%) no las tenía. Es deber del profesional situar en lugares visibles advertencias sobre la existencia de un generador radiactivo, de forma que personas ajenas no ingresen a la sala en el momento de las exposiciones. También es imperante hacer saber a todas las damas que estén embarazadas o crean estarlo notificarle al odontólogo su situación, de forma que se puedan llevar a cabo medidas de seguridad aún mayores con estos pacientes.

Durante las inspecciones se encontró que la mayoría de clínicas dentales utiliza barreras protectoras; 48.49% posee una gabacha plomada, 15.15% tiene dos. El 90.91% de estas gabachas se encuentran en buen estado. Sin embargo ninguna clínica tiene cortinas ni lentes plomados. Y sólo el 6.06% tiene cuellos plomados. Toda clínica dental que posea aparato de Rayos X debe de contener

gabachas plomadas para el operador así como para el paciente, especialmente niños y mujeres embarazadas. Los lentes plomados son útiles en la protección del cristalino ocular, el cual al interaccionar con dosis altas de radiación puede desarrollar cataratas. De igual forma los cuellos plomados protegen a la tiroides de dosis crónicas de radiación.

Dando paso al momento en que se hizo accionar el aparato de Rayos X durante tomas radiográficas se evidenció que la mayor parte de los operadores realizan sus tomas radiográficas con un kilovoltaje máximo de entre 70 y 79 Kpv. (36.41%), seguido del rango entre 60 y 69 Kpv. (34.11%). Además la mayor parte de los equipos de Rayos X es utilizado con miliamperaje máximo de 8 aM (41.18%), seguido de 7aM (31.76%). En cuanto al tiempo límite por exposición es utilizado el rango de entre 0.6 a 1 segundo (51.76%). Podemos observar que la energía utilizada es alta y contribuye a calidad de imagen y adecuado contraste, reduce además el tiempo necesario por exposición; de 4 segundos máximo que la mayoría de aparatos ofrece por toma la mayoría utiliza un tiempo igual o menor a un segundo. En materia de protección y seguridad radiológica es de especial importancia el tiempo de exposición por examen, el cual está determinado por el kilovoltaje, el miliamperaje, así como el tipo de película que se utiliza.

Después de realizar la radiometría en sitios aledaños al aparato de Rayos X principalmente por medio de la cámara de ionización (Baby Line) detectando radiación secundaria por cada toma radiográfica, se encontró que en la mayor parte de las clínicas dentales se detecta radiación dispersa en al menos uno de los ambientes contiguos al aparato de Rayos X (63.64%). De igual forma predomina la detección de radiación dispersa en el sitio donde se ubica el operador en el

momento de la exposición radiográfica (51.52%), así como donde se localiza el público en general (59.52%). Esto contradice el ideal de que el resultado radiométrico sea solamente el equivalente a la radiación de fondo presente.

Los hallazgos de los niveles de radiación detectados durante la medición de radiación secundaria señalaron que el rango más frecuente tanto en el sitio donde se ubica el operador como donde se encuentra el público en general es de entre 3×10^{-4} a 9×10^{-3} miliGrey/hora; en el caso de la ubicación del operador se encontró el 47.06% con ésta medida; por otro lado se halló en el sitio del público en general este rango en un 51.61%. Los inspectores del Departamento de Seguridad y Protección Radiológica del Ministerio de Energía y Minas utilizan una fórmula para estimar la tasa de dosis absorbida semanal partiendo de la medición de la radiación dispersa, la cual fue descrita en la descripción del instrumento I utilizado en ésta investigación. Aplicando la fórmula para estimar la dosis de radiación absorbida de acuerdo a la carga de trabajo de cada clínica individualmente, se obtuvo que la medida más frecuente estuvo dentro del rango de 1×10^{-6} a 9×10^{-5} miliSievert/semana para el público en general con un 64.52%; para el operador ocupacionalmente expuesto fue el rango de 1×10^{-4} - 9×10^{-3} miliSievert/semana con un 52.94%.

Estos resultados nos indican que el nivel de radiación es mínima ya que la dosis mínima semanal de radiación absorbida para el operador es de 0.4 miliSievert/semana, que contrasta con el rango de 1×10^{-4} a 9×10^{-3} miliSievert/semana que se calculó a partir de la radiación secundaria medida. Por otro lado la dosis mínima semanal para el público en general es de 0.2 miliSievert/semana, que dista del rango más frecuentemente estimado de 1×10^{-6} a

9×10^{-5} miliSievert/semana. Aún el rango mayor encontrado (1×10^{-2} - 7×10^{-1} miliSievert/semana) es muy inferior a la dosis de seguridad. Para comprender estas medidas podemos poner un ejemplo: supongamos que medimos un valor medio del rango más frecuente para la radiación secundaria en el sitio del operador (4.65×10^{-3} miligrey/hora) y que por exposición se usa 8aM y 1 segundo trabajando 6 días a la semana; se tendrían que tomar aproximadamente 500 radiografías diarias para alcanzarla dosis mínima de seguridad.

Sin embargo los hallazgos de estimación de dosis absorbida a partir de radiación dispersa deben ser tomados con cautela, ya que la radiación absorbida es mejor determinada con dosímetros personales del tipo termoluminiscentes o de película fotográfica.

Si discutimos los resultados del cuestionario de conocimientos sobre protección y seguridad radiológica veremos que los resultados fueron aceptables, como veremos.

La primera pregunta tiene el 100% de respuestas correctas contestadas; los odontólogos saben que tanto la médula ósea, el cristalino ocular y gónadas son radiosensibles.

Los profesionales respondieron acertadamente en un 90.91% con respecto a que un examen sanguíneo evidencia daño fisiológico crónico por exposición a la radiación, por lo que el nivel de conocimientos en la primera y segunda pregunta es excelente.

También es excelente la comprensión que el operador tiene sobre la importancia de mantenerse lo más alejado del haz primario de radiación para evitar

dosis dañinas de radiación, ya que por cada unidad de espacio que se aleja la persona de la emisión de radiación la dosis desciende cuatro veces. Esta respuesta fue satisfactoriamente contestada por todos los entrevistados.

En un 100% se contestó adecuadamente que los daños fisiológicos causados por los Rayos X incluyen cáncer, defectos genéticos en futuras generaciones, así como abortos espontáneos.

Es excelente el conocimiento sobre la importancia de que la exposición radiográfica dure el menor tiempo posible para evitar acumulación de radiación absorbida innecesaria, en esta ocasión se contestó acertadamente en un 96.97%.

El 93.94% conoce lo importante que significa el blindaje para impedir el paso de radiación a lugares contiguos donde no se necesitan los Rayos X.

La gran mayoría de odontólogos (96.97%) sabe que las mujeres embarazadas y los niños necesitan de medidas de seguridad adicionales porque poseen tejidos de rápido crecimiento y reproducción celular, que son más vulnerables a la radiación.

Todas las anteriores preguntas tuvieron un nivel de respuestas excelente, la última fue contestada correctamente en un 75.76%, que es un nivel aceptable. Un pequeño grupo de operadores ignora que la radiación no emana de los objetos alcanzados por ésta una vez la exposición a Rayos X a cesado y el tubo dejó de ser accionado.

El nivel de conocimientos de los operadores que laboran en clínicas dentales ubicadas en la ciudad de Guatemala y registradas en el Ministerio de Energía y Minas sobre protección y seguridad radiológica es alto y considerado aceptable.

CONCLUSIONES

- 1) Las características de manufactura de los aparatos de Rayos X de las clínicas dentales de la ciudad de Guatemala registrados en el Ministerio de Energía y Minas son apropiados para toma de roentgenogramas periapicales, sin embargo aunque la mayoría de este equipo fue adquirido nuevo, son muy pocos los que reciben servicio de mantenimiento periódico, el cual garantiza que las cualidades que el equipo tiene en un principio no se deterioren con el tiempo.
- 2) Predominan los odontólogos que trabajan de 40 a 50 horas por semana y toman de 11 a 15 radiografías en ese periodo de tiempo.
- 3) Los sitios aledaños al aparato de Rayos X más frecuentemente encontrados son: la sala de espera, pasillos y la clínica dental. Separan éstos sitios uno de otro estructuras hechas a menudo de block con divisiones de plywood, sólo block y block con divisiones de tablayeso.
- 4) La mayoría de clínicas dentales no tiene rótulos de seguridad radiológica (51.52%), aunque sí poseen barreras protectoras siendo la más utilizada: la gabacha de plomo; éstas se encontraban en buen estado en su gran mayoría. Los lentes plomados y las cortinas plomadas no son usadas.
- 5) El rango de kilovoltaje más utilizado (entre 70 y 79 Kpv), así como el miliamperaje de 8 aM, logra que el tiempo de exposición más frecuente (entre 0.6 a 1 segundo), sea seguro para el paciente, el operador y el público en general.

6) Se detectó radiación dispersa en la mayoría de clínicas dentales (63.64%). De igual forma predominó la detección de radiación en el sitio donde se ubica el operador en el momento de la exposición radiográfica (51.52%), así como donde se localiza el público en general (59.52%).

7) El nivel de radiación dispersa más frecuentemente detectado tanto el sitio donde se ubica el operador como donde se encuentra el público en general es de entre 3×10^{-4} a 9×10^{-3} miliGrey/hora; en el caso de la ubicación del operador se encontró el 47.06% con ésta medida; por otro lado se halló en el sitio del público en general este rango en un 51.61%.

8) La dosis de radiación absorbida estimada a partir de la radiación dispersa detectada de acuerdo a la carga de trabajo de cada clínica individualmente más frecuentemente calculada estuvo incluida dentro del rango de 1×10^{-6} a 9×10^{-5} miliSievert/semana para el público en general con un 64.52%; para el operador ocupacionalmente expuesto fue el rango de 1×10^{-4} - 9×10^{-3} miliSievert/semana con un 52.94%. Dosis muy bajas y lejanas de las dosis absorbidas de seguridad mínimas actualmente reconocidas.

9) El nivel de conocimientos de los operadores es alta y aceptable. Todos conocían cuales son los órganos más radiosensibles, la importancia de la distancia del operador con respecto al generador de radiación, así como los efectos dañinos de la radiación al organismo.

10) En un porcentaje de operadores que no bajó del 90% tienen el conocimiento sobre el examen de laboratorio que puede indicar daño por radiación crónica, la importancia del tiempo y el blindaje como medios para

evitar radiación innecesaria, así como el especial cuidado que se debe de tomar para niños y mujeres embarazadas en tomas roentgenográficas.

11) El 75.76% de los operadores conocen que la radiación no emana de los objetos una vez ya no siguen siendo irradiados por el generador.

RECOMENDACIONES

- 1) Estimular a los odontólogos que soliciten servicio de mantenimiento periódico de sus equipos para que logren un control de calidad que se traduzca en nitidez radiográfica; que ayude al correcto diagnóstico y tratamiento, y a lograr protección y seguridad radiológica.
- 2) Es recomendable la utilización de ladrillo macizo en las construcciones de las salas de Rayos X para evitar la diseminación de radiación dispersa.
- 3) La instalación de rótulos de seguridad radiológica para el paciente es una obligación del odontólogo, el paciente tiene el derecho de ser informado sobre la existencia de radiación ionizante, así como de si corre riesgo su estado de gestación.
- 4) Es recomendable que en las clínicas donde se detectó radiación dispersa se adquiriera servicio de dosimetría personal para medir directamente la radiación absorbida.
- 5) Se recomienda hacer un estudio a nivel departamental para determinar los niveles de radiación dispersa en clínicas dentales, los métodos utilizados en materia de protección y seguridad radiológica y los conocimientos que los operadores poseen sobre el tema.

LIMITACIONES

Los datos obtenidos en el presente estudio abarcaron clínicas y operadores que estaban incluidos en el registro que el Ministerio de Energía y Minas posee para licenciamiento. Existen clínicas dentales que utilizan aparatos de Rayos X que no están incluidas en los registros del Ministerio y que no fueron susceptibles de estudio.

ANEXOS

INSTRUMENTO I
GUIA DE INSPECCION
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA
AREA DE RAYOS X

DATOS DEL EQUIPO

TUBO MARCA_____MODELO_____SERIE_____

Kpv max_____mA (max)_____T(seg. Max)_____

NÚMERO DE EXPOSICIONES POR SEMANA: _____

PROVEEDOR_____INSTALADO POR:_____

MANTENIMIENTO DEL EQUIPO: empresa / preventivo:_____

Empresa/ correctivo:_____frecuencia:_____

HORARIO DE TRABAJO:_____

DATOS DE LAS INSTALACIONES

COLINDANCIAS:_____

CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN:_____

EQUIPO DE PROTECCION

No. DE GABACHAS PLOMADAS _____ ESTADO _____
CORTINA PLOMADA _____ No. DE CUELLOS PLOMADOS _____
No. DE LENTES PLOMADOS _____
TIPO DE BIOMBO _____

LEVANTAMIENTO RADIOMETRICO

TIPO DE ESTUDIO	Kvp	aM	T	TASA DE DOSIS MEDIDA	UBICACION

INSTRUMENTO II
CUESTIONARIO SOBRE CONOCIMIENTOS
DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA

- 1) CUAL O CUALES DE LOS SIGUIENTES ORGANOS ES O SON RADIOSENSIBLES?
 - A) Corazón.
 - B) Gónadas.
 - C) Médula Ósea.
 - D) Cristalino ocular.
 - E) B, C y D son correctas.

- 2) QUE EXAMEN NOS PERMITE SOSPECHAR INICIO DE DAÑO POR ABSORCIÓN DE DOSIS DE RADIACIÓN CRÓNICA?
 - A) Electrocardiograma.
 - B) Examen de heces y orina.
 - C) Examen sanguíneo.
 - D) Examen pulmona.
 - E) Ninguna de las anteriores.

- 3) LA DISTANCIA DEL OPERADOR RESPECTO AL GENERADOR DE RAYOS X ES IMPORTANTE PORQUE
 - A) Permite tener mejor visualización del área a irradiar.
 - B) Si el operador está muy cerca puede distorsionar la radiografía.
 - C) A mayor diastancia entre operador y Rayos X, menor absorcion.
 - D) El operador siempre debe de estar cerca del paciente para cerciorarse que no se mueva, así como tampoco cambie de lugar el aparato de Rayos X.
 - E) La distancia no es importante.

- 4) QUE EFECTOS EN EL ORGANISMO PUEDE PRODUCIR LA RADIACIÓN IONIZANTE?
 - A) Cáncer.
 - B) Defectos genéticos en futuras generaciones.
 - C) Abortos espontáneos.
 - D) Todas las anteriores.
 - E) A y B son correctas.

5) CON RESPECTO AL TIEMPO DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN PODEMOS DECIR QUE:

- A) A mayor tiempo de exposición la radiografía tendrá mejor imagen.
- B) A menor tiempo de exposición, las personas reciben menos radiación.
- C) Es preferible alargar el tiempo de exposición para reducir el tiempo de revelado de la película.
- D) Si se prolonga el tiempo de exposición se reducirá la radiación dispersa.
- E) El tiempo y número de exposiciones no influye en la dosis de radiación absorbida, sino la intensidad de radiación.

6) POR QUE ES IMPORTANTE EL BLINDAJE DURANTE LA EXPOSICIÓN A RAYOS X?

- A) Protege a la persona de dosis potencialmente malignas para el organismo.
- B) Porque permite una mejor nitidez de la imagen de la radiografía.
- C) Porque evita interferencias electromagnéticas en el momento de la toma radiográfica.
- D) Los rayos X penetran cualquier barrera; el blindaje no es importante.
- E) B y C son correctas.

7) CON QUE PERSONAS LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA DEBEN DE SER MÁS ESTRUCTAS?

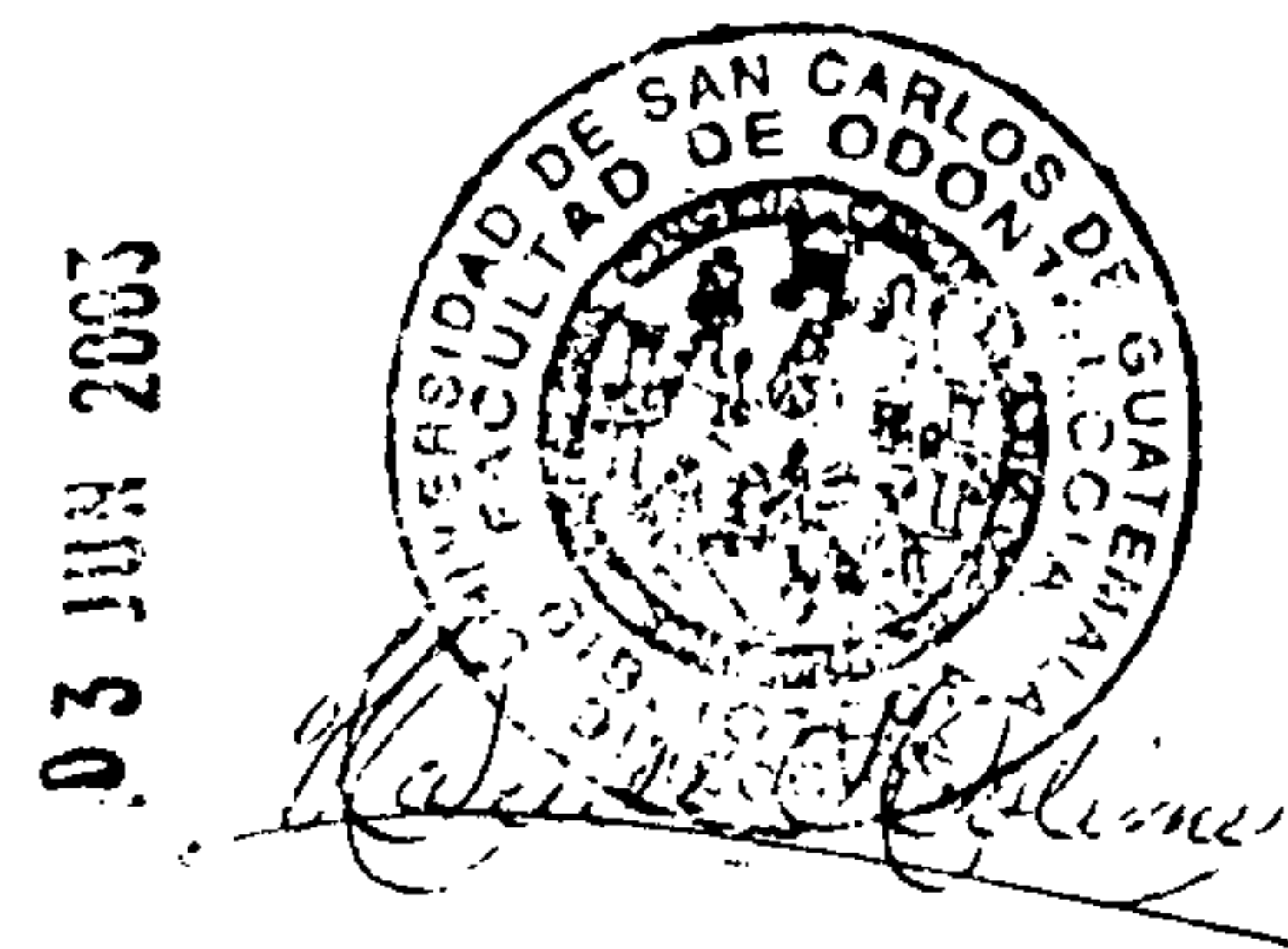
- A) Personas de la tercera edad
- B) Adultos
- C) Mujeres embarazadas
- D) Niños
- E) C y D son correctas

8) AL HABLAR DE LOS RAYOS X DE DIAGNOSTICO DENTAL CUAL DE LAS SIGUIENTES AFIRMACIONES ES INCORRECTA?

- A) Puede afectar permanentemente la información de ADN nuclear.
- B) Debe de prevenirse la radiación secundaria utilizando barreras protectoras.
- C) Después de una exposición de Rayos X la radiación continúa emanando de los objetos alcanzados por ésta.
- D) Luego de exposiciones en los ojos que exceden los límites de radiación absorbida para el operador ocupacionalmente expuesto, los Rayos X pueden ocasionar cataratas.
- E) Hay tres principios de protección radiológica: distancia, tiempo y blindaje.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alexander, P.-- Atomic radiation and life.-- Baltimore : Penguin Books, 1965.-- pp. 11-70, 158, 161.
2. Attis, F. H.-- Radiation dosimetry / F. H Attis, E. Tochillin.-- 2 ed. -- New York : Academic Press, 1969.-- pp. 14-17, 23-24, 45-46.
3. Beherens, Ch.-- Medicina nuclear / Ch. Beherens, E. King, J. Carpenter. ; trad. José Antonio Puig Vidiella.-- Madrid : Salvat, 1972.-- pp. 89-92, 94, 99-101, 106, 107, 139-402.
4. Brasseus, O.-- Peligro de las radiaciones.-- 2 ed.-- Buenos Aires : Interamericana, 1978.-- pp. 155-163.
5. Bushong, Stewart C.-- Radiologic science for technologist: physics, biology and protection.-- Atlanta : Mosby, 1975.-- pp.1-5, 19-42, 137-151.
6. Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas.-- Dosimetría clínica.-- Viena : OIEA, 1997.-- pp. 7-23, 119-137.
7. Hoxter, E.-- Técnica radiográfica.-- 9 ed.-- Alemania : Siemens Aktiengesellschaft, 1998.-- pp. 31-36, 56-70.
8. Internacional Photographic División / Eastman Kodak.-- Elementos de radiología.-- 5 ed.-- Virginia, USA: McGraw Hill, 1961.-- pp. 25-27, 69-71.



9. Jacobi, S.-- Manual de tecnología radiológica.-- 4 ed.-- Buenos Aires : El Ateneo, 1980.-- pp. 2-3, 7, 25, 45-66, 70-80, 85-87, 92-95, 109-112, 119-123.
10. Jawetz, J.-- Manual de microbiología médica.-- 8 ed.-- México : El Manual Moderno, 1979.-- pp.92.
11. Manson-Hing L. R.-- Fundamentos de radiología dental / L. R. Manson-Hing ; trad. Ma. Del Rosario Carsolio.-- 2 ed.-- México : El Manual Moderno, 1987.--pp. 1-36, 99-118, 207-221.
12. Massey, J. B.-- Manual de dosimetría en radioterapia / J. B. Massey ; trad. Springer Verlag.-- Viena : OIEN, 1997.-- pp. 109-114.
13. Mederith, W. J.-- Fundamental physics of radiology / W. J. Mederith, J. B. Massey.-- 3 ed.-- Chicago : Jhon Wright and Sons, 1977.-- pp. 1-96, 622, 685.
14. Morgan, K. Z.-- Principles of radiation protection / K. Z. Morgan, J. E. Turner.-- New York : Jhon Wiley and Sons, 1967.-- pp. 110-135.
15. Nelson, W. Vaughan.-- Tratado de pediatría / W. Vaughan Nelson, J. E. Turner ; trad. Irma Lorenzo.-- 7 ed.-- México : Salvat, 1980.-- pp. 1731-1733.
16. Novak, E.-- Ginecología / E. Novak ; trad. Joaquín Sánchez.-- 7 ed.-- México : Interamericana, 1974. --pp. 79, 275, 281.
17. Oficina Sanitaria Panamericana.-- Las radiaciones ionizantes y sus efectos en la población: lo que debe saber el personal de salud pública.-- Washington : OPS, 1959.-- pp. 5-15.

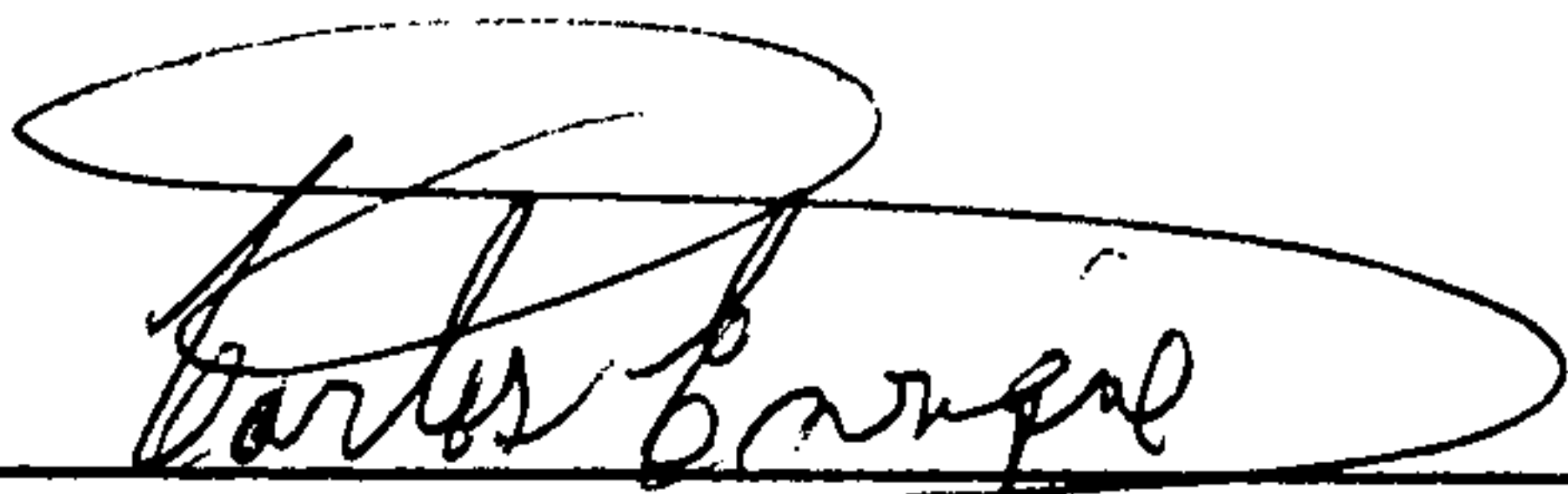


18. Organismo Internacional de Energía Atómica.-- Normas básicas de seguridad en materia de protección radiológica.-- Viena : OIEA, 1997.-- pp. 56-124.
19. Price, W. J.-- Nuclear radiation detection.-- 2 ed.-- New York : McGraw Hill, 1964.-- pp. 23-31.
20. Sintés, O.-- Física general aplicada.-- Barcelona : Ramón Sopena, 1969.-- pp. 84-87, 562-564, 772-775, 782.
21. Van Der Pijast.-- Técnica de la radiología médica / Van Der Pijast ; trad. Roberto Folch Fabre.-- 2 ed.-- Madrid : Paraninfo, 1972.-- 683 p.
22. Wain Wright, W. W.-- Dental radiology / W. W. Wain Wright ; trad. J. Pérez de Miguelans.-- New York : Mc Graw-Hill, 1965.-- pp. 7-79.
23. Wintropé, M.-- Hematología clínica / M. Wintropé ; trad. Samuel Leyt.-- 4 ed.-- México : Interamericana, 1979.-- pp. 26-36, 53, 107-112, 390-400.

03 JUN 2003



El contenido de esta Tesis es única y exclusiva responsabilidad del autor,



Carlos Enrique Díaz Mayorga
Autor