

## **Información Importante**

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Bibliotecas Bucaramanga**  
**Universidad Santo Tomás**

**CUANTIFICACIÓN DE RADIACIÓN DISPERSA  
EN AMBIENTES CONTIGUOS DURANTE EL USO DE EQUIPOS  
PORTATILES DE RADIOLOGÍA INTRAORAL**

Carolina Cárdenas Rincón, Adriana Ximena Díaz Dorado y  
Lina María Reyes Duarte

Trabajo de grado para optar el título de Especialistas en Endodoncia

Director  
Dr. Jorge Jaimes Bottia  
Esp. en Endodoncia

Codirectores  
Dr. Jorge Armando Solano Gutiérrez  
Esp. en Endodoncia

Dra. Martha Varón Plata  
Esp. en Endodoncia

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga  
División de Ciencias de la Salud  
Posgrado de Endodoncia  
2016

## Tabla de contenido

RESUMEN	9
1. Introducción	9
1.1. Planteamiento del Problema	10
1.1.1. Pregunta de Investigación	12
1.2. Justificación	12
1.2.2. Hipótesis	13
2. Marco Teórico	13
2.1. Marco Histórico	13
2.2. Marco Conceptual	14
2.2.1. Clasificación de la radiación ionizante	15
2.2.1.1. Radiación Electromagnética (REM)	16
2.2.1.2. Radiaciones Ionizantes	16
2.2.1.3. Radiaciones No Ionizantes	16
2.2.2. Medidas de Radiación	17
2.2.2.1. Dosis absorbida	17
2.2.2.2. Rad	17
2.2.2.3. Dosis equivalente	18
2.2.3. Medidas empleadas en radiología dental	19
2.2.4. Equipos radiológicos portátiles dentales	19
2.2.4.1. Aribex <sup>TM</sup> Nomad <sup>TM</sup>	19
2.2.4.2. Genoray Port X II	20
2.2.4.3. Descowin DX 3000	21
2.2.5. Exposición del Paciente y dosis	23
2.2.5.1. Radiología digital directa	23
2.2.5.2. Radiología digital indirecta	23
2.2.5.3. RDI Vs Convencional	24
2.2.5.4. RDI Vs RDD	24
2.2.5.5. Colimación	25
2.2.5.6. Técnica	25
2.2.5.7. Factores de exposición	25
2.2.6. Radiación dental y riesgo de exposición	25
2.2.7. Riesgo de Exposición	26
2.2.7.1. Ionización	26
2.2.7.2. Medidas de protección contra las radiaciones	27
2.3. Marco Legal	28
2.3.1. Efectos de la radiación en relación a tiempo, dosis, nivel celular en tejidos y órganos	28
2.3.2. Efectos biológicos de la radiación ionizante	29
3. Objetivos	31
3.1. Objetivo General	31
3.2. Objetivos Específicos	31
4. Método	32
4.1. Tipo de Estudio	32
4.2. Selección y descripción de participantes	32

<i>4.2.1. Población</i>	32
<i>4.2.2. Muestra</i>	32
<i>4.2.3. Criterios de selección (Inclusión y Exclusión)</i>	32
<i>4.3. Variables</i>	32
<i>4.4. Instrumentos</i>	33
<i>4.4.1. Equipos y Materiales</i>	33
<i>4.5. Procedimientos</i>	34
<i>4.6. Plan de análisis estadístico</i>	36
<i>4.7. Implicaciones Bioéticas</i>	38
5. Resultados	38
5.1. Radiación dispersa en el operador	38
5.2. Radiación dispersa en lateralidad	40
6. Discusión	45
<i>6.1. Conclusiones</i>	47
<i>6.2. Recomendaciones</i>	47
7. Referencias Bibliográficas	50
Apéndices	55
<i>A. Consentimiento informado</i>	55
<i>B. Consentimiento informado para uso de equipos</i>	56
<i>C. Instrumentos de recolección de datos</i>	57

**Lista de tablas**

	Pag.
Tabla 1 Radiaciones	16
Tabla 2 Límites de Dosis Anuales. Protección radiológica de trabajadores expuestos RD 783/2001	18
Tabla 3 Descripción de Unidades de medida	19
Tabla 4 Estimado de dosis efectivas en distintas prácticas	29
Tabla 5 Clasificación de Variables	32
Tabla 6 Extrapolación Anual de la Muestra para el equipo DX 3000, Dexcowin.	38
Tabla 7 Radiación dispersa/ operador descripción estadística de cada equipo.	39
Tabla 8 Radiación dispersa/ lateral descripción estadística de cada equipo.	41
Tabla 9 Estadístico Shapiro – Wilk	42
Tabla 10 Estadístico Anova	43
Tabla 11 Estadístico Tukey, Radiación Dispersa Operador.	43
Tabla 12 Estadístico Tukey, Radiación Dispersa Lateral.	44
Tabla 13 Radiación dispersa operador extrapolada a mSv/año	44
Tabla 14 Radiación dispersa lateral extrapolada a mSv/año	44

### Lista de figuras

Figura 1	El físico Wilhelm Conrad Roentgen	14
Figura 2	Modelo de un tubo de Rayos X	15
Figura 3	Nomad Pro (Aribex Inc., Orem, EE.UU.)	21
Figura 4	Port X – II. (Genoray, Corea).	21
Figura 5	DX 3000 (Dexcowin Co. Ltd, Seúl, Corea).	22
Figura 6	Prox (Digimed Co., Seúl, Corea).	23
Figura 7	A. Película Kodak. B. Soredex, Película de fósforo. C. Sensor Gendex. D. Sensor CCD.	24
Figura 8	Distancia e intensidad de los Rayos X	25
Figura 9	Formación de Radicales Libre.	26
Figura 10	Fotón de Rayos X.	26
Figura 11	Equipo Nomad Pro (Aribex Inc., Orem, EE.UU.).	33
Figura 12	Equipo Port X-II (Genoray Co. Ltd. Seongnam, Corea).	33
Figura 13	Equipo DX 3000 - (Dexcowin, Co. Ltd, Seúl, Corea).	33
Figura 14	Equipo Prox (Digimed Co., Seúl, Corea).	33
Figura.15	Equipo Geiger, <i>Marca: Stephen. Modelo 6000. Serie 1004076.</i>	34
Figura 16	Situación A: de Retrodispersión.	34
Figura 17	Situación B: lateral a 2 metros.	34
Figura 18	Medidas de radioprotección.	35
Figura 19	Diagrama de situación A toma de la muestra en retrodispersión.	36
Figura 20	Diagrama de situación B toma de la muestra en lateralidad a dos metros de distancia.	36
Figura 21	Equipo DX 3000, tiempo de exposición.	37
Figura 22	Radiación dispersa/operador.	40
Figura 23	Radiación dispersa/lateral.	42

## Siglas

**ICRP:** International Commission on Radiological Protection.  
En español Comisión Internacional de Protección Radiológica

**FDA:** Food and Drug Administration  
En español. Administración de Alimentos y Medicamentos

**FANC:** Federal Agency for Nuclear Control  
En español. Agencia Federal de Control Nuclear

**NIFDS:** National Institute of Food and Drug Safety Evaluation  
En español. Instituto Nacional de Alimentos y Medicamentos de Evaluación de la Seguridad.

**UNSCEAR:** United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic radiation  
En español. Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica

**OIEA:** Organismo Internacional de Energía Atómica

**COVENIN:** Comisión Venezolana de Normas Industriales

**Rad:** radiología (unidad de dosis absorbida)

**Rem:** Roentgen Equivalent Man (unidad de dosis equivalente y de dosis efectiva)

**Sv:** Sievert (unidad de dosis que mide el riesgo de efectos estocásticos debidos a la exposición a una radiación)

**mSV:** Milisievert

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**HPA:**  
Health Protection Agency  
En español. Agencia de Protección de la Salud

**kVp:** Kilovoltio

**mA:** Miliamperaje

**LET:** Linear Energy Transfer  
En español. Transferencia Lineal de Energía

**ROS:** Reactive Oxygen Species  
En español. Especies Reactivas de Oxígeno

**ICRU:** International Commission on Radiation Units  
En español. Comisión Internacional de Unidades Radiológicas

**Gy:** Gray

**mGy:** Miligray

**J/kg:** Joules por kilogramo

**SSD:** Source to Skin Distancia  
En español. Distancia Fuente-Piel

**mR:** Milirroentgens

**IEC:** International Electrotechnical Commission  
En español. Comisión Electrotécnica Internacional

**RDD:** Radiología Digital Directa

**RDI:** Radiología Digital indirecta

**ADN:** Ácido desoxirribonucleico

**ADA:** Asociación Dental Americana

**Plg:** Pulgadas

**SPSS:** Statistical Package for the Social Sciences (programa estadístico informático)

**ANOVA:** Análisis de la varianza

**ALARA:** As Low As Reasonably Achievable  
En español. Tan bajo como sea razonablemente posible

## Resumen

Los equipos de radiología dental portátil son una innovación tecnológica que ha aportado grandes cambios en la práctica clínica, especialmente en el área de endodoncia donde se usan de manera rutinaria, estos producen radiaciones ionizantes que tanto paciente como operador están expuestos, estas radiaciones interactúan con la materia viva y pueden producir efectos nocivos lo cual dependerá de la dosis absorbida, tiempo y tipo de tejido expuesto. Este estudio de tipo Observacional analítico de corte transversal cuantificó el nivel de radiación dispersa en ambientes contiguos a los equipos portátiles (Nomad Pro, Port X-II, DX 3000, Prox), para ello se utilizó un equipo medidor de radiación tipo Geiger, ubicado en dos situaciones: en retrodispersión y a dos metros de distancia del equipo de radiología dental portátil, con el cual se realizaron 10 tomas por cada situación programando los equipos para la toma de radiografía de un molar de adulto, y se cuantifico la radiación absorbida por el operador y el personal ocupacionalmente expuesto. Los resultados mostraron que el equipo Nomad Pro obtuvo las medias de radiación más bajas en las dos situaciones siendo 0,011 mSv/hora el valor para la situación de operador y 0,013 mSv/hora para la situación a dos metros. Como conclusión del proyecto a pesar de que ninguno de los equipos evaluados estuvo por encima del límite permitido anualmente (20mSv/año), nada impide el uso de medidas de radio protección para mantener el principio de ALARA.

**Palabras Clave:** equipo de radiología portátil, radiación dispersa, dosis máxima permitida, radio protección.

## Abstract

The Portable Equipments of Dental Radiology are a technological innovation that has brought great changes in the clinical practice, especially in the máxi of endodontics where they are used routinely. They produce ionizing radiation to both patient and operator; this radiation interacts with the living matter and can produce harmful effects. The harmful effects maximum ó the absorbed dose, time and type of material exposed. This analytical observational study of cross section quantifies the level of scattered radiation in adjacent environments of these equipments (Nomad Pro, Port X-II, DX 3000, Prox) for this purpose it was used a Geiger radiation meter equipment, based in two situations: backscatter and two meters away from the portable dental radiology. It was made 10 shots by each situation, programming the equipments for a radiograph of a molar adult and quantified the radiation absorbed by the operator and occupational support staff. The Results showed that the Nomad Pro obtained the lowest radiation under the two situations being 0,011 mSv/hr the value for the operator status and 0.013 mSv/hr for the situation of two meters. As maximums ón of the máximo, even though none of the tested equipments were above to the allowed annually limit (20mSv / year), nothing prevents the use of radiological protection to keep the ALARA principle.

**Keywords:** Portable radiology, scattered radiation, máximo allowable dose, radiological protection.

## **Cuantificación de radiación dispersa en ambientes contiguos durante el Uso de equipos portátiles de radiología intraoral**

**1. Introducción.** En el siglo XX se descubrió la radioactividad, que llevó a evidenciar cambios en los individuos expuestos a los Rayos X, siendo utilizados para varios fines, como la ayuda en el diagnóstico en el campo médico y odontológico observando efectos adversos que la radiación ionizante ha causado a nivel celular, que más tarde se pueden manifestar en diferentes alteraciones clínicas. Muchos de los pioneros en radiología sufrieron efectos biológicos, por dosis acumulativas de radiación (1)(2), por esta razón fue necesario empezar a emplear barreras, que disminuyeran la exposición tanto para los pacientes como para los profesionales. Producto de la identificación de los problemas colaterales del uso de los rayos X y de la preocupación de un grupo de expertos en 1.925 surge la comisión internacional de radiología (ICRP), encargada de la elaboración de normas de seguridad radiológica las cuales han ido evolucionando acorde a los avances en la evidencia científica disponible (3).

En 1969 esta comisión dio a conocer los daños causados por los Rayos X, clasificándolos como; 1. Daño superficial, 2. Efectos en los órganos hematopoyéticos, 3. Inducción de tumores malignos, 4. Efectos secundarios y 5. Efectos genéticos (3).

El desarrollo de los equipos portátiles de Rayos X han sido de gran utilidad en el campo médico, odontológico, veterinario y forense, es un aparato que por su manualidad y portabilidad es muy práctico en diversas situaciones como por ejemplo: zonas de desastre, zonas remotas, pacientes sedados, pacientes que no pueden acceder a la atención en los consultorios dentales por presentar alguna discapacidad y sobretodo son de gran utilidad en las especialidades odontológicas que requieran una secuencia radiológica en una consulta, como son la Endodoncia, implantología, cirugía etc. (4,5). Actualmente, hay varias casas comerciales que fabrican estos equipos de Rayos X recibiendo la aprobación de la FDA (Food and Drug Administration) para ser comercializados en los Estados Unidos y el resto del mundo (6). Además los fabricantes garantizan seguridad y confianza en el blindaje para la radiación emitida por sus equipos haciendo que cada día se vendan y se utilice n más por parte del odontólogo y especialistas.

En Norte América, estados como Michigan, Ohio y Washington permiten el uso limitado de estas máquinas dentales portátiles de rayos X y definen las condiciones de su uso debido a que el operador la activa manualmente y directamente en la mayoría de los casos. Sin embargo, Corea no tiene reglas o directrices sobre la protección contra las radiaciones para el equipo portátil de rayos X dental y es uno de los países donde más se manufacturan (7). En Colombia la importación de equipos de rayos X requiere una licencia expedida por el Ministerio de Salud el cual establece las normas y reglamentaciones y los lugares de trabajo donde se originen radiaciones ionizantes deberán someterse a procedimientos de control para evitar niveles de exposición nocivos para los trabajadores.(8)

En la presente investigación 3 de los equipos portátiles utilizados para el estudio (Port X-II, Prox y DX 3000) son de fabricación coreana y un equipo de fabricación estadounidense (Nomad Pro). Se tomarán mediciones para cuantificar la radiación dispersa en ambientes contiguos durante la toma de radiografías periapicales operando directamente el equipo con lo cual se analizará si ésta

dosis de exposición está dentro de los límites permitidos por el Ministerio de Minas y Energía de acuerdo con las disposiciones legales vigentes en el país (9).

**1.1. Planteamiento del Problema.** Durante un tratamiento endodóntico, desde el diagnóstico hasta los controles postoperatorios, se necesita una herramienta diagnóstica que facilite la comprobación radiográfica ya que esto aporta importante información de cada procedimiento, la morfología del diente a tratar y su relación con estructuras anatómicas vecinas que no son visibles al examen clínico (10). Se debe citar que el estudio previo de la planeación de un tratamiento endodóntico también puede ser necesario hacer exámenes complementarios que implican radiografías panorámicas, periapicales y en diversas ocasiones tomas tridimensionales como el sistema Cone Beam (Tomografía computarizada).

La implementación de tecnologías como el equipo portátil radiológico en odontología ha marcado un gran cambio en la práctica, en comparación con los equipos convencionales fijos, ya que traen consigo ventajas tanto para el paciente como para el profesional que realiza el procedimiento; disminuyen el tiempo de trabajo por la facilidad de transportar y almacenar el equipo, no se requiere un cuarto plomado de Rayos X durante el tratamiento, disminuyendo así costos de infraestructura (5). No obstante, es necesario conocer la seguridad radiológica de estos equipos portátiles, ya que el operador siguiendo las instrucciones del fabricante está en contacto directo con el equipo durante la toma de radiografías periapicales (5).

En la práctica endodóntica en promedio se efectúan de 4 a 8 radiografías por tratamiento realizado en una hora (radiografía inicial, conductometría, conometría, radiografía final). El estudio realizado por Aquino y colaboradores permitió concluir que las medidas de protección adecuadas para el personal de odontología que realiza la toma de radiografías, favorece a una dosis de exposición mínima (2)(11) y que además se requiere un número muy alto de radiografías diarias aproximadamente 2.653 tomas radiográficas para llegar a la dosis de  $1\text{Gy} = 1\text{Sv}$  (11). Tomando en cuenta que el ser humano está expuesto constantemente, a otras radiaciones de origen natural la cual tiene dos fuentes principales, los rayos cósmicos y las radiaciones por elementos radioactivos presentes en la corteza terrestre e incluso en el mismo cuerpo humano, todas estas radiaciones contribuyen con la dosis de exposición efectiva anual (3)(12). Estudios anteriores consideraron que a largo plazo la exposición a la radiación ionizante por mínima que sea, puede traer cambios biológicos en los profesionales y personal auxiliar, lo cual puede variar de un individuo a otro, ya sea por la edad, género, tipo de radiación y tiempo de exposición; A pesar de los eficientes y múltiples mecanismos de defensa celular, estos se pueden alterar y generar estados patológicos a largo plazo, con dosis bajas o altas de radiación (13)(15).

Para asegurar un nivel apropiado de protección radiológica para el hombre, tanto en el sector Salud como el sector Industrial, sin que se limiten las prácticas, cada gobierno en el mundo legisla una normatividad enfocada a proteger la salud de los trabajadores y el medio ambiente. Esta normatividad ha sido abanderada por la Comisión internacional de protección radiológica (CPR en español y en inglés CIPR) que en su primer momento fue llamada Comité Internacional de Protección ante los Rayos X y el radio, asociación fundada en 1928 por la Sociedad Internacional de Radiología en el Reino Unido como su última publicación en 2007. Esta comisión pretende

establecer estándares de seguridad radiológica que puedan aplicarse a cualquier situación de exposición a radiación (16).

Los equipos de Rayos X portátiles son aprobados en casi todos los estados americanos; en California, por ejemplo, la ley considera que no representa ningún riesgo indebido para la vida y la salud el uso de estos equipos, siempre y cuando el sistema de Rayos X de mano haya recibido la aprobación por la Agencia de Alimentos y Medicamentos (FDA), tenga un escudo de retrodispersión proporcionado por el fabricante, que equivale a 0,25 mm de plomo en el caso del equipo *Aribex Nomad*. El personal que manipula estos equipos debe llevar consigo un dispositivo de monitoreo que es evaluado de forma mensual, debe tener registros de capacitación actualizados. En contraste, en Canadá este tipo de tecnología no está aprobada para su uso a pesar de su seguridad y comodidad para los dentistas (17)(18).

Directrices Euratom sobre el uso de la radiación ionizante se han adoptado en la ley Belga desde 2001 y su aplicación en la práctica dental es supervisado por el FANC (Agencia Federal de Control Nuclear, Bruselas, Bélgica) (19). Según el Instituto Nacional de Evaluación de la Seguridad de Alimentos y Medicamentos (NIFDS) de Corea, la radiación dispersa en la radiografía dental portátil era mayor que la radiografía dental fija porque es manual por eso debe ser imprescindible llevar el delantal plomo. Esta norma de inspección es en su mayoría para la protección radiológica del paciente y no para el operador que maneja directamente el equipo (5).

Por otra parte, en países de Latinoamérica como es el caso de Venezuela, se adoptaron niveles internacionales de referencia como son la ICRP, el Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (siglas en inglés: UNSCEAR), La Organización Internacional de Energía Atómica (siglas en inglés: OIEA), organizaciones referencia en materia de reglamentación de protección radiológica. Según lo establecido en la Norma Venezolana COVENIN 2258 vigente, toda persona ocupacionalmente expuesta a equipos de Rayos X, debe dotarse de la vigilancia radiológica individual, la institución debe proporcionar los medios protectores necesarios, tanto para el personal ocupacionalmente expuesto como para el paciente, tales como parabanes plomados, protector tiroidal, protector gonadal, delantal blindado, guantes, lentes plomados, entre otros (20)(21).

Otros países como Chile y Colombia también establecen reglamentos de protección radiológica para el personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes con un límite de dosis de 2 Rem / año (20 mSV/año) para cuerpo total y todas las medidas necesarias de radio protección (22).

Todas estas normativas implementadas en varios países por las diferentes organizaciones se deben a los efectos biológicos adversos que trae consigo la exposición a la radiación ionizante que como bien se sabe, son de tipo acumulativo e involucran acciones directas e indirectas sobre los tejidos (23), como ionización y radicales libres que generan cambios en las células y sus funciones (24), aunque estos requieran un tiempo, a corto o largo plazo para la aparición de signos clínicos; depende de la dosis total de radiación recibida y la cantidad de tiempo (25).

Existe una fuerte evidencia de que la radiación ionizante de manera repetida en un periodo largo de exposición puede inducir a efectos biológicos genéticos que no involucran al individuo, pero que se manifiestan en las generaciones aun por nacer; y los efectos somáticos que afectan a la persona expuesta a la radiación (26), como anomalías de nacimiento e incluso cáncer en órganos

“blanco” como son el tejido hematopoyético, el sistema reproductor, la tiroides, piel y ojos. En odontología los efectos de la radiación a corto plazo no han sido observados (2)(27)(28)

A pesar de toda la información disponible sobre los efectos a largo plazo de las radiaciones, el personal profesional del área de odontología no ha manifestado interés por acoplar las medidas de radioprotección básicas, recomendadas por los fabricantes de estos equipos de rayos X portátil.

**1.1.1. Pregunta de Investigación.** ¿La cantidad de radiación dispersa emitida por los equipos de Rayos X portátiles al ambiente contiguo, está dentro de los valores permitidos para el operador y personal ocupacionalmente expuesto durante la toma de radiografías periapicales?

**1.2. Justificación.** La necesidad de fomentar una conciencia y una cultura del efecto de las radiaciones ionizantes a tal punto que en reuniones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha planteado: "La radiología diagnóstica es la causa más importante de exposición humana a fuentes artificiales", también se sabe que el grado de seguridad alcanzado hasta hoy es muy elevado minimizando el riesgo del paciente y compensándolo con los beneficios de los mismos (2).

En la práctica clínica existen sistemas de radiología portátil que presentan menor riesgo para el operador y los pacientes, que los equipos convencionales (29). Sin embargo, se debe considerar que cada modelo de equipo de Rayos X debe ser evaluado con respecto a la seguridad radiológica debido a que las características de cada diseño pueden variar dependiendo del fabricante. En el caso del Nomad Pro (Aribex Inc., Orem, EE.UU.) tiene blindaje interno de plomo y un escudo de retrodispersión (plomo-acrílico) conectado permanentemente, pero también existen equipos que ofrecen el escudo como un aditamento adicional, entre ellos se tiene; Port X-II (Genoray Co. Ltd. Seongnam, Corea), Prox (Digimed Co., Seúl, Corea), DX 3000 (Dexcowin Co. Ltd, Seúl, Corea), debido la seguridad radiológica de cada uno se debe evaluar de manera independiente (5)(7)(30).

En julio de 2012, la Agencia de Protección de la Salud (HPA) y los científicos del Hospital Kings College en Londres publicaron un estudio donde demuestran que el equipo de Rayos X portátil Tianjie Dental Falcon (Corea) tiene protección de plomo insuficiente en su interior para evitar la radiación excesiva. El haz de Rayos X de la máquina es demasiado amplio, lo que significa que todo el cráneo del paciente está expuesto a la radiación en lugar de sólo la boca. El científico Donald Emerton, que probó el dispositivo, dijo: "Con el tiempo alguien trabajando con este equipo, como asistente dental, estaría expuesto a niveles inaceptables de radiación acumulada y esto tendría un mayor riesgo para su salud"(31). Ese mismo año la FDA publicó un comunicado para alertar a los proveedores de atención médica, odontólogos y veterinarios, sobre la venta ilegal de equipos portátiles de Rayos X que no han sido evaluados, ni aprobados por la FDA exponiendo al operador, personal auxiliar y pacientes a radiaciones innecesarias y potencialmente dañinas.(32)

Por otra parte se han realizado diversos estudios para medir el nivel de radiación dispersa detectada en ambientes contiguos a los aparatos de Rayos X convencionales en la clínica dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala - 2008; determinaron que 4 de 7 equipos de Radiología convencional utilizados en el estudio, requieren reforzar las barreras de protección (infraestructuras, biombos, etc.) ya que no cumplen con los requisitos de límite de

dosis/anual, tanto para el trabajador ocupacionalmente expuesto como para el público, de acuerdo a lo estipulado en la Reglamentación Nacional en materia de Seguridad y Protección Radiológica vigente en ese país (33).

La radiación ionizante puede tener efectos a corto y a largo plazo (2), en el caso de la radiología dental solo se podrán observar efectos a largo plazo los cuales se manifiestan después de años o generaciones, ya que están asociados a pequeñas cantidades de radiación absorbida de manera repetitiva en un largo período; y están ligados a anomalías del nacimiento, defectos genéticos, daño celular, mutaciones e inducción de cáncer (24)(34).

Los profesionales del área de endodoncia de manera rutinaria emplean equipos de rayos X portátiles para apoyar el desempeño de sus procedimientos, no obstante, hay un desconocimiento sobre la radiación real a la que tanto ellos como sus pacientes están diariamente expuestos. Por lo anterior, el propósito de este estudio fue cuantificar el nivel de radiación dispersa generada por los equipos portátiles de radiología dental más frecuentemente usados por los especialistas en endodoncia y conocer, si las dosis de radiación dispersa recibida por el operador y/o personal de trabajo durante la toma de radiografías periapicales, no supera los límites permitidos dentro de la reglamentación vigente del Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

**1.2.2. Hipótesis.** Los equipos de radiología portátil usados en la práctica de endodoncia generan radiación dispersa que puede estar por encima de los valores permitidos para el operador/personal ocupacionalmente expuesto.

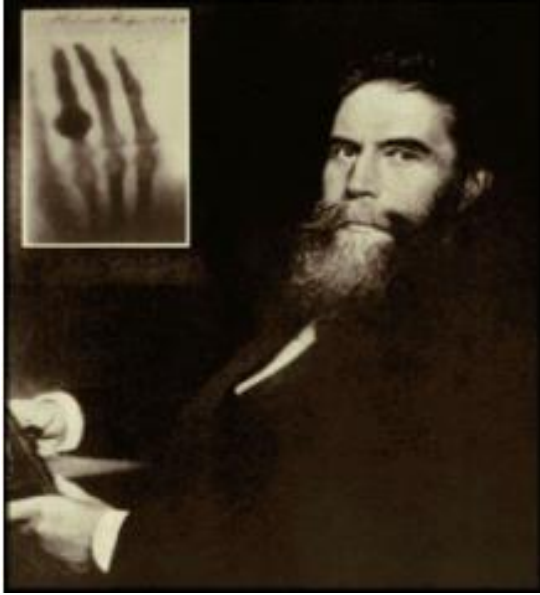
## 2. Marco Teórico

**2.1. Marco Histórico.** El físico Wilhelm Conrad Roentgen (Figura 1) a finales del siglo XIX con el descubrimiento de una nueva clase de rayos, que llamó Rayos X hizo un gran aporte a la medicina. Estos rayos fueron descubiertos de forma accidental mientras él estudiaba los rayos catódicos en un tubo de descarga gaseosa de alto voltaje (tubo de Crookes). El tubo estaba dentro de una caja de cartón negro, Roentgen vio que una pantalla de platino - cianuro de bario, que estaba cerca, emitía una luz fluorescente siempre que el tubo estaba en funcionamiento. Después de varios experimentos, determinó que la fluorescencia se debía a una radiación invisible más penetrante que la radiación ultravioleta (35)(36).

La primera radiografía se realizó en el año 1895 en las manos de su esposa convirtiéndose en las manos más famosas de la historia de la ciencia, con tan importante descubrimiento, le concedieron en 1901 el primer premio Nobel de la historia. (35)(36).

Esta nueva fuente de energía no era detectable por ninguno de los cinco sentidos; en tan solo 30 días del descubrimiento los médicos cirujanos ya utilizaban estos rayos como diagnóstico preoperatorio para así realizar sus procedimientos. El Dr. Otto Walkhoff posterior al descubrimiento efectuó la primera radiografía de sus propios maxilares utilizando una placa de vidrio normal recubierta con una emulsión fotográfica, envuelta en papel negro y chapa de goma,

y la colocó en la parte externa de la mandíbula, con un tiempo de exposición de 25 minutos pero obtuvo un resultado bastante defectuoso por la escasa sensibilidad del receptor (35)(36).



*Figura 1.* Wilhelm Conrad Roentgen. Descubridor de los Rayos.

*Fuente:* [http://chandra.harvard.edu/edu/formal/casa\\_timeline/windows/roentgen.html](http://chandra.harvard.edu/edu/formal/casa_timeline/windows/roentgen.html)

El Dr. Williams Rollins diseñó la primera unidad de Rayos X para odontología y el Dr. Edmund Kells fue el primero en realizar una radiografía intrabucal en un paciente vivo, considerándose esta gran innovación la mayor aportación a la radiología dental. En principio los rayos X fueron utilizados de manera incontrolada, sin precaución alguna, y sin tener conocimiento de las consecuencias que podían causar a los seres vivos, las cuales fueron apareciendo por las extensas exposiciones, sobre las personas (35).

**2.2. Marco Conceptual. Los Rayos X.** esta dentro de las radiaciones electromagnéticas (Desde ondas de radio, microondas, luz ultravioleta, rayos infra rojos, rayos ultravioletas, hasta Rayos X) con cuya longitud de onda mínima por lo que tienen mayor energía y mayor poder de penetración. Se desplazan a la velocidad de la luz ( $3 \cdot 10^8$  m/s) aproximadamente, son invisibles y no tienen masa, se desplazan en línea recta. Cuando interactúa con la materia ocurren dos mecanismos de atenuación, la absorción y la difusión o radiación dispersa que no contribuyen a la obtención de la imagen diagnóstica.(37)

La absorción del haz primario es directamente proporcional al número atómico de la materia a irradiar, a mayor número atómico, mayor absorción, por ejemplo, el hueso con número atómico 13.8 tiene mayor probabilidad de interactuar con los fotones de energía generados por el equipo radiológico, en consecuencia, los fotones no alcanzan a llegar a la película o sensor y por tal razón el hueso es radiopaco. (37)

El corazón del sistema de generación de Rayos X es el tubo de Rayos X (Figura 2); la radiación electromagnética en forma de Rayos X se produce cuando electrones de alta velocidad chocan contra materia. El sistema de Rayos X, se necesita una cantidad abundante de electrones, para lo cual se emplea un filamento de Tungsteno el cual se calienta por medio de una línea de bajo voltaje, produciéndose una nube de electrones, el cual está rodeado por una copa de molibdeno (ambos forman el cátodo del tubo de Rayos X). Opuesto al filamento de Tungsteno se encuentra otra placa de Tungsteno pequeña y rectangular que servirá de blanco hacia el cual se dirigen los electrones de alta velocidad. El Tungsteno se usa tanto para la fuente de electrones como para el blanco del tubo de los Rayos X debido a su alto número atómico y a su resistencia a la fundición. Este blanco está incrustado en un vástago de cobre para facilitar la rápida conducción del calor a partir del blanco formando el ánodo del tubo de Rx, los electrones del filamento viajan por un tubo de vidrio al vacío hacia el blanco sin la interferencia de los átomos del aire y el área donde interactúan los electrones del filamento y se generan los Rayos X se llama punto focal (38)(39).

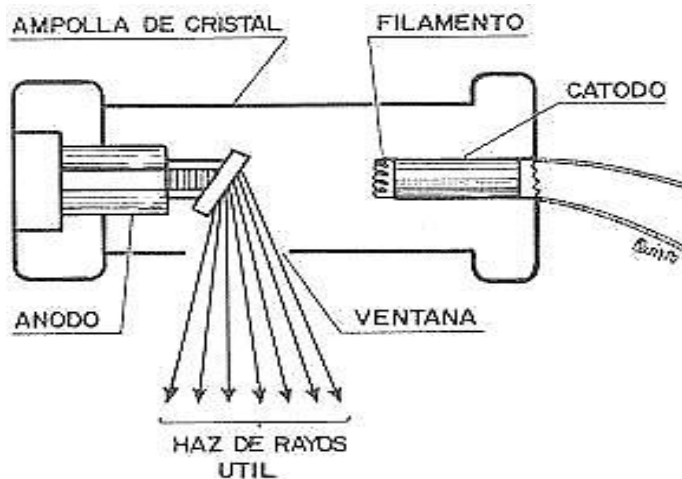


Figura 2. Modelo de un tubo de Rayos X.

Fuente: Turner DC, y col. 2004 (40)

En el sistema de rayos X los dispositivos de regulación, son el marcador de **kilo voltaje (kVp)** (regula la corriente de alto voltaje, la cual a su vez regula la velocidad de los electrones que viajan desde el filamento de Tungsteno hasta el blanco), el marcador de **miliamperaje (mA)**. (Determina la cantidad de Rayos X que se producen durante las exposiciones al controlar la temperatura del filamento de Tungsteno) y el determinador de tiempo (regula el tiempo en el cual el alto voltaje pasará a través del tubo de Rayos X).

**2.2.1. Clasificación de la radiación ionizante.** La radiación ionizante, los radicales libres y el estrés oxidativo radiaciones ionizantes son tipos de radiación de partículas (como neutrones, partículas alfa, partículas beta y rayos cósmicos) o electromagnético (como ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma) con la energía suficiente para ionizar átomos o moléculas separando electrones de sus orbitales de valencia. El grado y la naturaleza de tal ionización dependen de la energía de las partículas individuales o la frecuencia de la onda electromagnética (36).

Las radiaciones ionizantes prevalentes en el espacio, implican una amplia gama de tipos de radiación y energías de fuentes solares cósmicos e impredecibles, lo que representa una gama muy diversa de las cualidades de ionización y la eficacia biológica.

La transferencia lineal de energía (LET) es una medida de la energía transferida a las células de tejido o como una partícula ionizante viaja a través de él. El LET de las radiaciones potenciales puede cubrir varios órdenes de magnitud de <1,0 kV μm<sup>-1</sup> a> varios 100 μm<sup>-1</sup> kV (Blakely y Chang 2007) de radiación de baja LET causa daño a través de especies reactivas de oxígeno (ROS) de producción, principalmente por la radiólisis del agua presente en sistema viviente (39)(41).

Una partícula es ionizante cuando al atravesar un medio e interactuar con átomos del mismo, es capaz de arrancar electrones de las capas más externas de la corteza de los átomos, creando iones, que son más inestables y activos químicamente que el átomo neutro inicial.

2.2.1.1. *Radiación electromagnética (Rem)*. En principio todas las Rem son lo mismo, transporte de energía sin soporte material. En todos los casos el transporte se realiza de forma ondulatoria y a igual velocidad en el vacío (c=300000 Km/s).

2.2.1.2. *Las radiaciones ionizantes* pueden aparecer bien como emisión de materiales radiactivos (sean naturales o creados artificialmente), bien generadas mediante equipamiento eléctrico. En la siguiente figura se recogen algunas de las aplicaciones de los materiales radioactivos:

Tabla 1. Radiaciones.

<b>RADIACIONES</b>	<b>IONIZANTES</b>	<b>Partículas Con masa</b>	Alfa
		<b>Rem*</b>	Beta
			Neutrones
			Otros**
			Gamma, RX
	<b>NO IONIZANTES</b>	<b>Rem*</b>	UV
			Visible
			IR
			Microondas
			RF

\*radiación electromagnética

\*\*otros: protones, núcleos pesados

Fuente: Riesgos y aplicaciones Edic. 2003

2.2.1.3. *Radiaciones no ionizantes*. Separadas por el tramo del espectro.

- Radiación de baja y alta frecuencia: campos eléctricos de aparatos, red eléctrica convencional, monitores de video, tramos de radio AM.
- Radiofrecuencias: tramos de radio AM y FM, onda corta médica.

- Microondas: Aparatos domésticos por microondas, telefonía móvil, microondas para fisioterapia médica.
- Infrarrojo: luz solar, aparatos para terapia con calor, laser.
- Luz visible. luz solar, fototerapia, laser.
- Luz ultravioleta: luz solar, tubos fluorescentes, esterilización de comida y aire, tratamientos de radioterapia (39)(40).

**2.2.2. Medidas de radiación: magnitudes y unidades dosimétricas.** Las definiciones y guías para la protección radiológica son dadas por las organizaciones mundiales como la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (ICRU) que fue establecido en 1925 y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), desarrollan así magnitudes de protección y magnitudes dosimétricas.(42)

Con el objetivo definir el límite de exposición con una sola magnitud (dosis), la cual se toma del ser humano como receptor, definir los órganos sensibles a la radiación y describir los tipos de radiación ionizante.

Las magnitudes operativas consideran que para llevar la vigilancia radiológica en lugares de trabajo e individual, se usan equipos adicionales: mientras las mediciones del área o aire libre se realizan mediante un monitor, se debe portar un dosímetro personal. Los cuales generan valores usados para el control y limitación de las exposiciones a la radiación periódicamente.(43)

La exposición a la radiación efectiva para el operador es la suma de cualquier radiación que se fuga desde el tubo de Rayos X (radiación de fuga) y cualquier radiación que dispersa del paciente o de los objetos que están en el campo de Rayos X (retrodispersión de radiación) y consigue volver al cuerpo del operador (40). El procedimiento adoptado por la Comisión para la evaluación de la dosis efectiva es usar como magnitud física fundamental a la dosis absorbida. La misma se promedia sobre los órganos y tejidos específicos, se aplican los factores de ponderación escogidos adecuadamente, teniendo en cuenta las diferencias en la eficacia biológica de las distintas radiaciones.

La magnitud dosimétrica fundamental es la dosis absorbida, ya que relaciona otros factores y parámetros, permite hacer evaluaciones del daño que puede causar la radiación en el ser humano y se utiliza para fines terapéuticos (3).

**2.2.2.1. Dosis absorbida.** Es la magnitud física básica de dosis y se utiliza para todos los tipos de radiación ionizante y cualquier geometría de irradiación. La dosis absorbida se deriva del valor medio de la magnitud estocástica de energía impartida, y no refleja las fluctuaciones aleatorias de los sucesos de interacción en el tejido.

**2.2.2.2. Rad.** Unidad especial de dosis absorbida que es igual al depósito de 100 ergios de energía por gramo de tejido (100 erg/g). De acuerdo al sistema internacional de unidades:

- Un rad es equivalente a 0.01 joules por kilogramo (0.01 J/kg).
- La unidad equivalente al rad es el gray (Gy), que es igual a un J/kg.

Las siguientes ecuaciones expresan las equivalencias entre el rad y el Gy:

- **1 rad = 0.01 Gy**
- **1Gy = 100 rad**

La unidad utilizada para especificar la dosis absorbida es  $J \cdot kg^{-1}$ , y recibe el nombre especial de **Gray (Gy)**. **1Gy = 1 Jkg<sup>-1</sup>**

2.2.2.3. *Dosis Equivalente*. Diferentes tipos de radiación tienen efectos distintos en los tejidos; la medida de dosis equivalente se emplea para comparar los efectos biológicos de diversos tipos de radiación. La unidad tradicional de la dosis equivalente es el roentgen en el ser humano, o rem y se define como sigue:

Rem es el producto de la dosis absorbida (rad) por el factor de calidad específico del tipo de radiación (39).

Tabla 2. Límites de Dosis Anuales.

<b>Dosis Efectiva</b>	<b>Personas profesionalmente expuestas</b>	Trabajadores	100 mSv/ 5 años máximo:20mSv/año
	<b>Personas profesionalmente no expuestas</b>	Aprendices y estudiantes	6 mSv/año
<b>Dosis Equivalente</b>	<b>Personas profesionalmente expuestas</b>	Todo el organismo	20 mSv/año
		Cristalino	150 mSv/año
	<b>Personas profesionalmente no expuestas</b>	Piel	500 mSv/año
		Manos, antebrazos, pies y tobillos	500 mSv/año
	<b>Personas profesionalmente no expuestas</b>	Aprendices y estudiantes	
		Cristalino	150 mSv/año
	<b>Personas profesionalmente no expuestas</b>	Piel	150 mSv/año
		Manos, antebrazos, pies y tobillos	150 mSv/año
	<b>Personas profesionalmente no expuestas</b>	Público, aprendices y estudiantes	
		Cristalino	150 mSv/año
<b>Personas profesionalmente no expuestas</b>	Piel	50 mSv/año	
	<b>Embarazadas (feto)</b>	Debe ser improbable superar	1 mSv/embarazo
<b>Casos Especiales</b>	<b>Lactantes</b>	No debe haber riesgo de contaminación corporal radiactiva	
<b>Exposiciones especialmente autorizadas</b>	Solo trabajadores profesionalmente expuestos de categorías A: en casos excepcionales las autoridades competentes pueden autorizar exposiciones individuales superiores a los límites establecidos, siempre que sea con limitación de tiempo y en zonas delimitadas		

*Radiaciones ionizantes: normas de protección, editor. España.*

*Fuente: Pascual AB, Gadea EC. NTP 614.*

**2.2.3. Medidas empleadas en radiología dental.** En odontología estas unidades de radiación utilizan múltiplos muy pequeños debido a que se aplican dosis pequeñas de radiación durante los procedimientos radiográficos por esta razón se utiliza el prefijo mili (milésimo) para facilitar al radiólogo expresar pequeñas cantidades de exposición, dosis y dosis equivalente.

La unidad de medida de la dosis absorbida, es el gray (Gy) y el miligray (mGy) y corresponde a la energía depositada por unidad de masa, lo cual contribuye a calibrar el posible efecto biológico, la equivalencia de 1 Gy es 1000 mGy o 100 rad. El efecto biológico o el efecto sobre los tejidos vivos depende también de la dosis equivalente, cuya unidad de medida es el sievert (Sv) y el milisievert (mSv), las cuales expresan la probabilidad del 5% de un efecto adverso. En el caso de los equipos de odontología, al tomar una radiografía periapical la dosis equivalente es de 0,005 mSv, valor poco significativo si se considera que, en dosis menores a 100 mSv, los riesgos de efectos en salud son muy pequeños para ser observados o no existen (27).

El **Gray** y el **Sievert** son iguales en radiología dental, ya que el factor de calidad de la radiación es 1 en RX, otras medidas como son el **roentgen**, el **rad** y el **rem** son casi iguales (24).

Tabla 3. Descripción de Unidades de medida

Unidad Tradicional	Símbolo	Definición	Conversión
Roentgen	R	1R = 87 erg/g	1R = 2.58*10 <sup>-4</sup> C
Dosis de radiación absorbida	Rad	1 rad = 100 erg/g	1 rad = 0.01 Gy
Equivalente de roentgen en el ser humano	Rem	1 rem = rad*QF	1 rem = 0.01 Sv
Culombios por kilogramos	C/kg	-	1 C/kg = 3880
Gray	Gy	1 Gy = 0.01 J/kg	1 Gy = 100 rad
Sievert	Sv	1 Sv = Gy*QF	1 Sv = 100 rem

Fuente: Gladys Cecilia Lazo (Tesis de Grado) 2008 (33).

**2.2.4. Equipos radiológicos portátiles dentales.** La aplicación de los equipos de rayos X portátiles puede ser de gran utilidad en la atención odontológica privada como en áreas remotas; como bases militares y médicas misiones humanitarias, y en la atención domiciliaria para los pacientes geriátricos, personas con movilidad reducida, en sala de operaciones para los pacientes sedados.

**2.2.4.1. Aribex<sup>TM</sup> Nomad<sup>TM</sup>.** Dispositivo portátil desarrollado en 2004 y recibió la aprobación de la FDA como un dispositivo médico en julio de 2005, ha sido utilizado ampliamente y en muchas ocasiones en incidentes de muertes masivas que requiere la identificación odontológica forense de numerosas víctimas como fue el caso del huracán Katrina y el tsunami del Océano Índico donde este equipo facilitó la identificación de las víctimas (7).

En los Estados Unidos, el uso de este dispositivo en el sector privado y por otros profesionales ha sido restringido por las leyes de cada estado y agencias reguladoras responsables para control de la seguridad del operador mientras se emplea la radiación que emite los dispositivos. En 2006, la Junta de Salud del Estado de Nevada autorizó un estudio que se llevó a cabo en la Universidad de

Las Vegas Escuela de Medicina Dental para evaluar las fugas y la retrodispersión para el operador durante el uso del Aribex™ Nomad™ en una variedad d escenarios de exposición (7)(29)(44).

El sistema NOMAD (figura 4) es un equipo de Rx portatil, alimentado por una batería recargable de 14.4 voltios. La unidad está diseñada con un peso (menos de 4kg) y tamaño reducido para una fácil manipulación por el operador. Entre las especificaciones tenemos: Voltaje 60kV Corriente 2,3 mA, el tiempo de exposición es 0,01-0,99 s, distancia de la fuente de la piel 20 cm, fuente-piel (SSD) 20 cm. El tubo de rayos x está rodeado por compuestos de metales pesados como plomo (Pb) para reducir la radiación de fuga del tubo. La radiación retrodispersada también es absorbida por un escudo acrílico adjunto en la salida del cono. Este escudo tiene equivalente de 0,5 mm de espesor de Plomo, y protege el torso de los operadores, las manos, la cara y las gónadas de la retrodispersion (40).

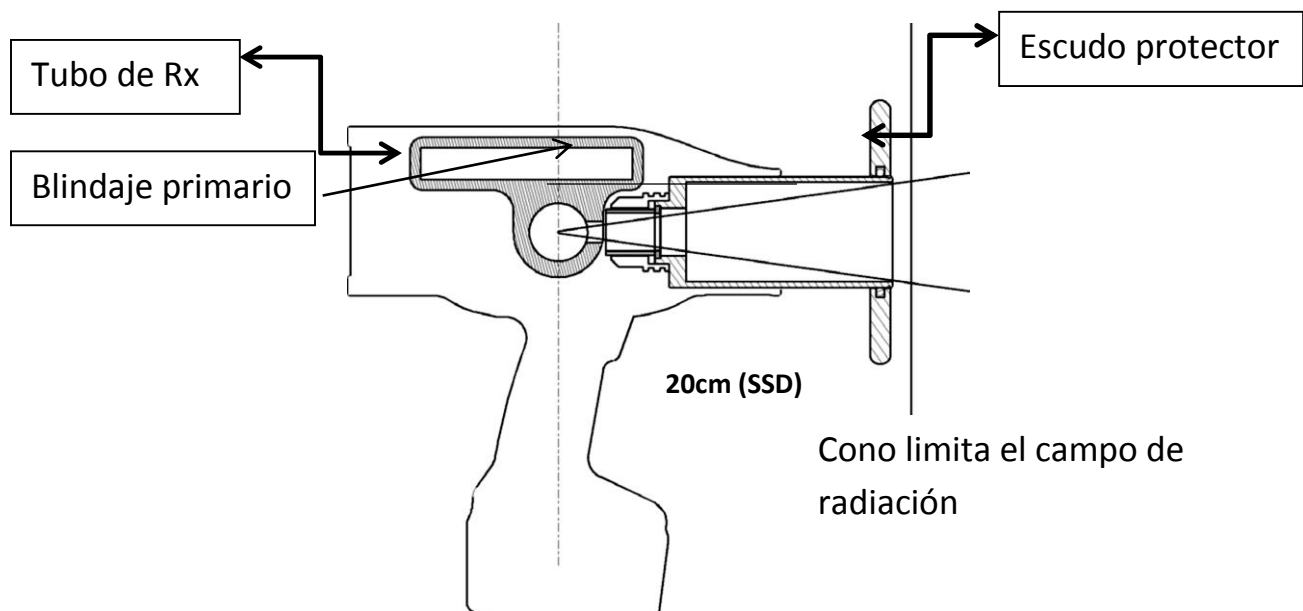


Figura 3. Normad TM.

Fuente: Artículo "Radiation Safety Characteristics of the NOMAD™ Portable X-Ray System"

Los reglamentos de la FDA (Food and Drug Administration U.S) establecen que la radiación máxima admisible de fugas de rayos X es 100MR / hora medido a una distancia de 1 metro de la fuente de rayos x sobre un área de 100cm<sup>2</sup> y 2 metros de altura en casos de operadores altos. La especificación IEC (International Electrotechnical Commission) es aún más rigurosa tiene como límite 0.25mGy / hr (25MR / h).(6)

2.2.4.2. Genoray Port X II. Equipo portátil fabricado en Corea (fig. 5), el uso de este dispositivo está en aumento en las clínicas dentales por su libre circulación, dentro de sus especificaciones tenemos un voltaje de 60 kilovoltios, corriente o mili amperaje 2.0 mili amperaje, tiempo de

exposición 0,03- 2.0 segundos diámetro focal 0.8 milímetros, peso 2.35 kilogramos, y no tiene disponible escudo protector (30,45).

En el 2012 un estudio realizado por el Dr Kim Eun-Kyung y cols. Sobre el efecto de la cantidad de carga de batería en relación al voltaje del tubo en diferentes sistemas dental de rayos x portátiles (Genoray port XII, Nomad Pro, DX 3000, Prox) donde los voltajes de todas las unidades portátiles de Rayos X disminuyeron a medida que la cantidad de la carga de la batería disminuye. Se sugirió una carga de la batería persistente para mantener un voltaje apropiado del sistema de rayos x dental portátil. También se observó que la mayoría de los quipos portátiles, excepto Nomad Pro mostraron una distancia entre fuente – piel (siglas en ingles SSD) corto (10 a 11,5 cm) de menos de 18 cm y no ofrece un escudo de retrodispersión conectado permanentemente, sólo el modelo (DX 3000) proporciona un escudo de retrodispersión opcional (46).



*Figura 4. Genoray Port X-II.*

*Fuente: <http://www.genoray.com>*

2.2.4.3. *Dexcwin DX 3000.* Ensamblado en Corea del Sur, (Figura 5), presenta gran reducción en la exposición de Rayos-X con respecto al equipo de Rayos-X convencional, cuenta con las siguientes características; voltaje del tubo 60kV, corriente del tubo 1mA (mili amperaje), tipo del tubo ánodo estacionario, tamaño del punto focal 0.8mm (milímetros), distancia entre el operador y punto focal mayor a 10 cm (centímetros), peso: 1,8 kilogramos, el cono está cubierto de aluminio lo cual reduce la radiación de fuga, aplicable para cualquier uso de sensores digitales, posee un escudo de retrodispersión, batería recargable de litio.

Según Eun-Kyung Kim en 2012 evaluó que los voltajes del tubo disminuyeron a medida que la carga de la batería disminuía, para el equipo **Prox (Digimed Co., Seúl, Corea)** (Figura 6), su carga completa fue de 56,7 kV y 54,0 kV en su carga más baja, éste posee un voltaje en el tubo 60 kV,

corriente del tubo 2 mA, tamaño del punto focal 0,8 mm, distancia entre el operador y el punto focal 10 cm, no posee escudo de retrodispersión, presenta una batería de litio – polímero (30).



*Figura 5. Equipo de radiología dental portátil Dexcowin 3000 (Co. Ltd, Seúl, Corea). Con escudo de protector de retrodispersión radiológica.*

*Fuente: [dexcowin.com/advantages-of-digital-radiography/](http://dexcowin.com/advantages-of-digital-radiography/)*

En ese mismo estudio, el objetivo, fue evaluar el efecto de la cantidad de carga de la batería en el voltaje del tubo en diferentes rayos x portátiles. Se puede suponer que el kV de este sistema podría disminuir a medida que la cantidad de la carga de la batería disminuye, entre los resultados se encontró que el Nomad Pro unidad mostró 59,5 kV a carga completa y 57,0 kV en su carga más bajo, DX 3000 unidad mostró 60,8 kV a carga completa y 56,5 kV en su carga más bajo y el Port-X Unidad II mostró 61,5 kV a carga completa y 59,5 kV en su carga más bajo (30).

Los voltajes de Rayos X de todas las unidades disminuyeron a medida que la cantidad restante de la carga de la batería disminuye, se sugiere que el intervalo de la prueba de rendimiento debería ser revisada tanto para la batería con carga mínima residual, así como con carga completa, porque la vida de la batería es corta y su rendimiento puede degradarse rápidamente y por fines de seguridad, siendo que las características de diseño pueden variar significativamente de un fabricante a otro. Sobre todo, la mayoría de ellos, excepto Nomad Pro mostraron corto SSD (10-11,5 cm) de menos de 18 cm y no ofrece un escudo de retrodispersión conectado permanentemente. Sólo un modelo (DX 3000) proporciona un escudo de retrodispersión opcional (30).



Figura 6. Equipo de radiología dental portátil Prox (Digimed Co., Seúl, Corea)

Fuente: [www.tonkindental.com/bioray\\_prox\\_portable\\_x.htm](http://www.tonkindental.com/bioray_prox_portable_x.htm).

**2.2.5. Exposición del paciente y dosis.** Varía de acuerdo a sensores digitales, placas de fósforo o película análoga.

**2.2.5.1. Radiología digital directa (RDD).** Emplea como receptor de rayos X un captador rígido habitualmente conectado a un cable a través del cual la información captada por el receptor es enviada al ordenador. Se denomina directa porque, a la inversa de la indirecta, no requiere ningún tipo de escaneado tras la exposición a los rayos X, sino que el propio sistema realiza automáticamente el proceso informático y la obtención de la imagen.

En la actualidad, son ya muchas las casas comerciales que han desarrollado sistemas de radiología digital directa. Algunos ejemplos de los más comercializados por las casas Kodak, Gendex, o Sirona, entre otros. El sensor es colocado en boca del mismo modo que si se tratara de una película radiográfica con un protector para cada paciente y se procede a la exposición a rayos X.

**2.2.5.2. Radiología digital indirecta (radiología con fósforo fotoestimulable - RDI).** La imagen es capturada de forma analógica en una placa de fósforo fotoestimulable y convertida en digital tras su procesado o escaneado. En la actualidad, podemos encontrar diferentes sistemas de placas de fósforo en el mercado:

- Digora (Soredex, Helsinki, Finland).
- Cd-dent (Antes Digi-Dent, Orex, Yokneam, Israel).
- DenOptix (Gendex, Dentsply, Milan, Italy).

Estas placas receptoras se colocarán en unas fundas protectoras que se desecharán tras su utilización. Una vez tomada la radiografía, la placa se colocará en el escáner, que leerá la imagen

tomada, la transmitirá al ordenador y finalmente, borrará la imagen para permitir la nueva utilización del receptor. Durante todo este proceso de manipulación puede producirse alteraciones, tanto de la imagen como de los propios receptores (10)(47)(48).

**2.2.5.3. RDI Vs Convencional.** Hintze y cols. Realizaron en el 2002 un estudio con el objetivo de evaluar la precisión en la detección de caries de una película convencional y 4 sistemas de RDI utilizados con 2 tiempos de exposición diferentes (10% y 25% de la correspondiente a la película). Los sistemas utilizados fueron los siguientes: sistemas de fósforo fotoestimulable Den Optix®, Cddent®, Digora blue® y Digora white®, y película Ektaspeed plus®. Los autores concluyeron que con estos sistemas 9de RDI reducían la exposición en un 75% con respecto a la película convencional (10)(47)(48).

**2.2.5.4. RDI Vs RDD Vs convencional.** En 2005 Bhaskaran y cols. Publicaron un estudio cuyo objetivo fue medir y comparar la calidad de imagen y exposición a rayos X de tres tipos de sistemas de radiografía intraoral: 1) Película convencional: Kodak F-speed; 2) RDI: Digora FMX; 3) Sistema basado en CCD: Visualix USB. Se realizaron exposiciones de entre 10 y 2000 milisegundos, en molares superiores e inferiores de maxilares y mandíbulas disecadas. Las imágenes no fueron reajustadas, pero sí clasificadas en función a la calidad a la hora de observar la anatomía del conducto radicular, obturación endodóntica, espacio del ligamento periodontal, lámina dura y hueso alveolar. Según sus resultados la máxima calidad de imagen sólo se observó con película convencional, mientras que ambos sistemas digitales obtuvieron una puntuación máxima de 3.1. La reducción de la dosis de rayos X para obtener máxima calidad con radiología digital fue del 20% para el Visualix USB y del 70% para el Digora FMX. Considerando como “aceptable calidad de imagen” a aquellas clasificadas en un rango entre 2 y 4, la mínima dosis aceptable para el Visualix USB fue de un 50% de reducción sobre la dosis convencional (10)(47)(48).

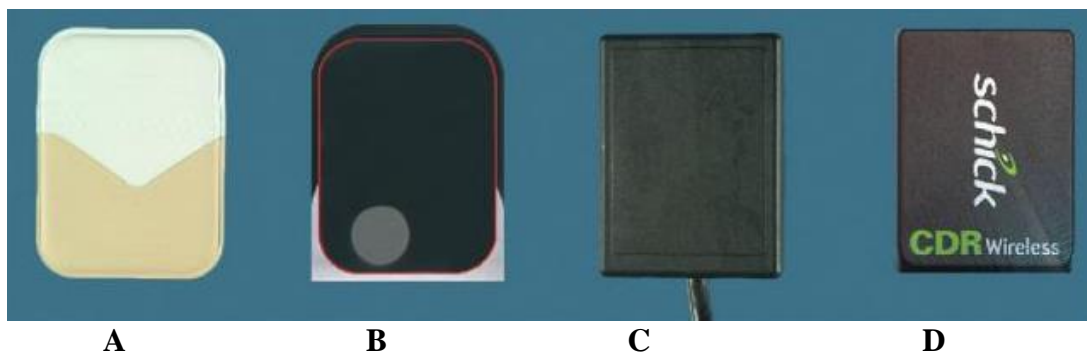


Figura 7. A. Película Kodak. B. Soredex, Película de fósforo. C. Sensor Gendex. D. Sensor CCD. Fuente: Schick. White, S.C. & Pharoah M.J. *Oral Radiology: principles and interpretation*. Elsevier Health Sciences; 2014

2.2.5.5. *Colimación.* La función del colimador en el tubo de rayos X es fundamentalmente, delimitar el campo de radiación en la superficie de la piel del paciente, se encuentra instalado en la ventana de salida del tubo de rayos-X, rodeado de un material plomado.

En comparación los colimadores redondos con respecto a colimadores rectangulares, estos últimos reducen de 60% a 70% la dosis absorbida. La longitud del colimador que se utiliza para establecer la distancia recomendada entre el foco y la piel del paciente ha variado desde la inexistencia del mismo hasta los 40 cm, el 87.47% de los equipos utiliza colimadores de 20 cm de longitud (49).

2.2.5.6. *Técnica.* La intensidad del haz de rayos X es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente, ya que el haz de rayos X se dispersa a medida que se aleja de la fuente (Fig. 9). La exposición a la radiación se limita al emplear una distancia más larga de fuente-película. Los tipos de conos largos son de 30-40 cm de longitud de manera que la distancia sea mayor entre fuente y película. Los conos de 20 cm (cortos) producen mayor divergencia de rayos X y más exposición del paciente. El uso de un cono largo la técnica de paralelismo y una distancia mayor de fuente-película reducen la dosis administrada a la piel (5).

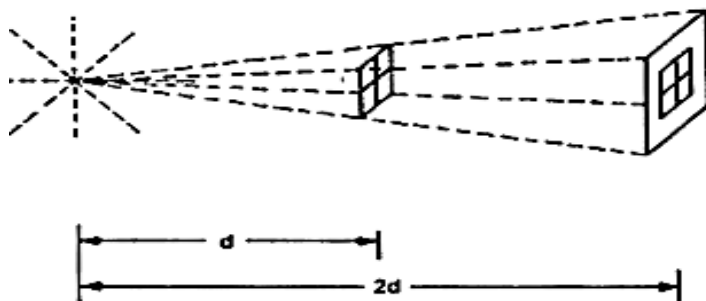


Figura 8. El cuadrado de la distancia y la intensidad de los Rayos X.

Fuente: Curso básico Protección Radiológica Código MS. PCR – 040. Año 2008

2.2.5.7. *Factores de exposición.* El kilovoltaje controla la penetración y el contraste de la imagen, por ello debe alcanzarse una dosis mínima con una calidad de imagen compatible con el diagnóstico. La exposición a la radiación se reduce con el uso de un kilovoltaje más alto, lo que reduce la dosis al paciente y la radiación dispersa (50).

2.2.6. *Radiación dental y riesgo de exposición.* Se entiende por radiación la propagación de la energía a través del espacio o a través de una sustancia en forma de ondas o partículas. Los rayos X para diagnósticos poseen de los dos, en contraste, la energía ondulatoria se puede comparar de la siguiente manera; la radiación que emite la televisión es de 1 metro y la de los rayos X es de 0,00000000001 metros o 0.1 nanómetros, es decir mayor frecuencia de onda, mayor energía y por consiguiente alta capacidad de penetración en líquidos, sólidos y gases. Y la composición de la sustancia determina si los rayos X penetran o pasan a través o se absorben. Está demostrado que las radiaciones ionizantes causan cambios biológicos en los tejidos vivos. Lo que fue descubierto poco después de la aparición de los rayos X, y por lo cual hubo investigaciones en base a los

sobrevivientes de las bombas atómicas y de pacientes sometidos a radioterapia (Efectos a corto plazo), en odontología, aunque la radiación dental es pequeña el daño biológico ocurre (Efecto a largo plazo) son pequeñas cantidades de radiación absorbida repetidamente durante un largo periodo, generando cambios químicos llamados

**2.2.7. Riesgos de exposición**

2.2.7.1. *Ionización.* Cuando el rayo X choca con el tejido vivo se produce un efecto fotoeléctrico, que da como resultado la expulsión a alta velocidad de un electrón, éste interactúa con otros generando ionización, excitación y ruptura de enlaces moleculares, que son los causantes de los cambios químicos y por consiguiente cambios biológicos. Estos efectos pueden o no tener un efecto profundo en la célula y depende de las moléculas sensibles que afecte por ejemplo el ADN.



Figura 9. Formación de Radicales Libres: Cuando un fotón de rayos X ioniza el agua, es decir produce hidrógeno y radicales libres de hidroxilo los cuales son inestables y altamente reactivos, para alcanzar su estabilidad se combinan con otras moléculas para formar toxinas por ejemplo peróxido de hidrógeno

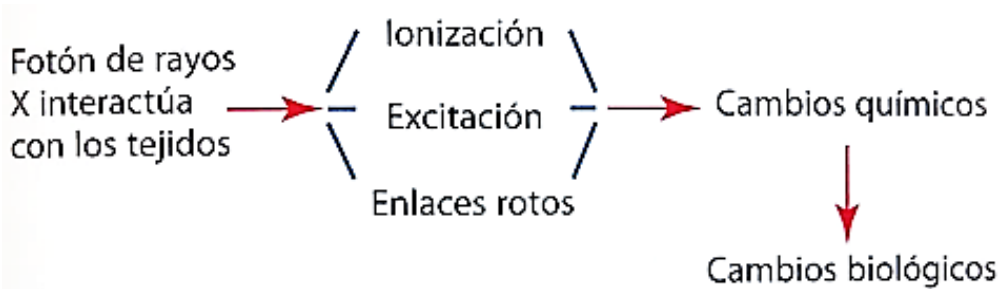


Figura 10. Fotón de Rayos X

Partiendo de que el agua es el componente primario de las células vivas, este es el daño mayormente causado por la radiación X. Con los procedimientos radiográficos dentales los órganos de riesgo incluyen: la glándula tiroides, medula ósea, piel, ojos.

2.2.7.2. *Medidas protección contra las radiaciones.* Con el fin de minimizar la exposición a la radiación X, se deben implementar técnicas adecuadas de protección antes, durante y después de la toma de una radiografía, además del uso de equipos que cumplan con los lineamientos de radiación, estatales y federales.

En primer lugar, la correcta prescripción de las radiografías dentales en cuanto a número, tipo y frecuencia, la Asociación Dental Americana (ADA) y la Administración de Drogas y Alimentos de los EE.UU. (FDA) adoptan directrices para la toma de decisiones y recomendaciones para promover la protección del paciente.

Por ejemplo, el examen radiográfico total de la boca se prefiere cuando el paciente tiene evidencia clínica de enfermedad generalizada dental o una historial de tratamiento dental extenso. El examen debe ser individualizado, basado en los signos clínicos y síntomas.

El equipo de rayos X debe tener filtros de aluminio y colimador de plomo, la filtración es de 2 tipos: **Filtración inherente**: hace parte del aparato es de aproximadamente 0,5 a 1mm de aluminio y es cuando el haz primario pasa a través de la ventana de vidrio del tubo de rayos X, el aceite aislante y el cabezal sellado, este filtro no cumple con los estándares regulados por las leyes.

Se requiere de una **Filtración añadida** son discos de aluminio colocados en el camino del haz para filtrar los rayos X de baja energía o de longitud de onda más larga; los cuales no son útiles en la radiografía y son perjudiciales.

Filtración total de equipos de o por debajo del pico de kilovoltaje 70 (kVp) requieren un mínimo espesor de aluminio de 1,5 mm y mayor a 70 kVp debe ser de 2,5mm. El colimador puede ser tubular o rectangular, se monta directamente a la carcasa del equipo de rayos X por donde sale el haz de radiación, con un diámetro no más de 2,75 pulgadas un poco más grande a dos películas intraorales.

Dispositivo de indicación de posición o cono, rectangulares o redondos, los hay de dos longitudes 8 y 16 pulgadas (plg), es preferible el de mayor longitud ya que produce menos divergencia del haz de rayos X. y el rectangular es más eficaz para la reducción de la exposición.

Elementos que se usan durante la exposición como **Collar de protección para glándula tiroides** dispositivo flexible de plomo que se ajusta alrededor del cuello del paciente, la tiroides es un tejido altamente radiosensible.

El delantal de plomo elemento de plomo flexible que cubre y protege el pecho del paciente y que además protege los tejidos reproductivos, existen ahora aleaciones sin plomo los cuales son 30% menos pesados y más cómodos que los tradicionales, brindando la misma protección contra la radiación.

Dentro del sistema de toma de radiografía están las películas de velocidad F o *InSight*, usada para radiografías intraorales, este tipo de radiografía disminuye en un 20% la exposición en comparación con las de velocidad E o *Ektaspeed*, y un 60% menos que las películas de velocidad D o *Ultra Speed*.

**Dispositivos de alineación del Haz:** ayuda a estabilizar la película radiográfica en la boca, evita la sobre exposición de la mano del paciente para sostener la radiografía.

**Selección del factor de exposición:** esto es manipulable por operador que controla los factores de exposición con el ajuste del pico de kilovoltaje en el panel de control si se trata de un dispositivo fijo a la pared.

**Técnica apropiada:** la técnica apropiada puede evitar repetir tomas, lo que resulta una exposición adicional del paciente. Esto está ligado al conocimiento de la anatomía del operador, las técnicas más enfocadas son de paralelismo, bisectriz y aleta de mordida (51).

**2.3. Marco Legal.** Normas internacionales de protección radiológica: Legislación de seguridad contra radiación (normativa del Ministerio de Minas y Energía de Colombia). Máxima dosis permisible. Según la resolución número 18 0005 (05 ENE. 2010) El Ministerio de Minas y Energía de Colombia tiene como función “Regular, controlar y licenciar a nivel nacional todas las operaciones concernientes a las actividades nucleares y radiactivas. “Dictar las normas y reglamentos para la gestión segura de materiales nucleares y radiactivos en el país y velar por el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias en materia de protección radiológica y seguridad nuclear” (9)(52).

Y mediante la Resolución 18-1434 del 2002 el Ministerio de Minas y Energía expidió el Reglamento de Protección y Seguridad Radiológica, el cual tiene por objeto establecer los requisitos y condiciones mínimos que deben cumplir y observar las personas naturales o jurídicas interesadas en realizar o ejecutar prácticas que causan. Exposición a la radiación ionizante estableciendo el límite de exposición en 20 milisievert (mSv/año) para exposición ocupacional y 1 mSv/año para exposición del público (9)(52).

Según la resolución 000108 de Enero 22 de 2014, el artículo 151 de la Ley 9ª de 1979 establece que “Toda persona que posea o use equipos de materiales productores de radiaciones ionizantes deberá tener licencia expedida por el Ministerio de Salud” esta ley dice que para toda actividad de manejo con fuentes de radiaciones ionizantes debe ser controlada por personal altamente calificado, toda persona que posea o use equipos de materiales productores de Rayos X deberá tener licencia por el Ministerio de Salud y deberá cumplir con las normas de protección de los riesgos (53).

**2.3.1. Efectos de la radiación en relación a tiempo, dosis, a nivel celular, en tejidos y órganos.** “Garantizar que toda práctica que conlleve exposición a las radiaciones ionizantes se realice con la mayor seguridad y protección, minimizando al máximo posible, la exposición y el riesgo, de los trabajadores expuestos, de la población y el medio ambiente”. Se debe pensar más en el beneficio que el daño que nos pueda provocar las radiaciones ionizantes.

Tabla 4. Estimado de dosis efectivas en distintas prácticas

Fuente o Practica	Tasas de Dosis efectivas (mSv/año)	
	Promedio en población mundial	Promedio individual
Fondo natural	2.4	15
Radiología diagnostica	0.41	0.1 10
Exposición ocupacional	0.002	0.5 5
Energética nuclear	0.0002	0.001

Fuente: UNSCEAR “Sources, effects and risk or ionizing radiation”. 2005

Tasas de dosis efectivas según las actividades del quehacer humano: Aquí, se establecen además los límites primarios de dosis para los trabajadores expuestos: **2 rem/año (20 mSv/año)** (12). Según la información dada por La ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica) con una aplicación que reúne conceptos y modelos matemáticos lo cual fue aplicado a personas con accidentes sobre la exposición a las radiaciones, determinaron un aumento en los factores de riesgo en cáncer (3). Siguiendo la información científica se dispone de un 3% de todos los cánceres pueden tener un origen radiogénico, mientras que el 97 % restante por otras causas. El riesgo actual estimado a padecer de cáncer por la exposición a las radiaciones ionizantes es de  $5 \times 10^{-2}$  Sv. (54).

**2.3.2. Efectos biológicos de la radiación ionizante.** Cuando se realiza una radiografía diagnóstica en la cavidad bucal, la dosis de radiación recibida es bastante baja; y muchas veces no se respetan las medidas de protección necesarias. La radiación puede ser considerada significativa o no y su efecto dependerá de la dosis absorbida, tiempo y tipo de tejido expuesto a la radiación por otra parte, la sensibilidad celular también influye en las lesiones; hay más daño en las células que son más sensibles a la radiación (27).

La siguiente lista de células comunes y/o tejidos, agrupados de acuerdo con un orden decreciente de radio-sensibilidad:(35)

- El tejido linfático, especialmente los linfocitos.
- Células rojas jóvenes, de la médula ósea.
- Las células que revisten el canal gastrointestinal.
- Células de las gónadas; los testículos son más sensibles que los ovarios.
- Piel, especialmente la porción que rodea el folículo capilar.
- Células endoteliales vasos sanguíneos y peritoneo.
- Epitelio del hígado y adrenales.
- Otros tejidos, incluidos el óseo, músculo y nervioso.

Los organismos gubernamentales dedicados a la protección radiológica utilizan la hipótesis conservadora de que incluso en dosis muy bajas o moderadas de las radiaciones ionizantes aumentan la probabilidad de contraer cáncer, y que esta probabilidad aumenta con la dosis recibida (Modelo lineal sin umbral). A los efectos producidos a estas dosis bajas se les suele llamar efectos estocásticos. A los efectos producidos a altas dosis se les denomina no estocásticos (2).

Cuando las radiaciones interactúan con la materia viva se producen efectos nocivos, que podrían clasificarse en fases:

**a. Fase de reacción físico-química:** Esta fase se refiere a la interacción con el agua, molécula más frecuente en los tejidos. Tales efectos se pueden secuenciar como:

- Excitación de la molécula que absorbe la energía de la radiación X, seguida de ionización. Ejemplo: **radiólisis del agua**.
- Generación de iones y radicales libre de agua.
- Recombinación y reacciones químicas de radicales libres. Ejemplo: formación de dióxígeno (O<sub>2</sub>), de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).<sup>(2)</sup>

**b. Fase de reacción bioquímica:** Los rayos-X pueden interactuar con cualquier molécula biológica, sobre la cual pueden generarse cambios transitorios o permanentes, tales como:

- Efectos sobre los enlaces formados por puentes de hidrógeno y disulfuro entre cadenas peptídicas, entre aminoácidos y la estructura cuaternaria de las proteínas.
- Efectos sobre los enlaces de los ácidos nucleicos y sobre nucleótidos, de consecuencias variables, lo que puede llegar hasta la mutación genética.
- Efectos sobre las moléculas de lípidos (2).

Dependiendo de la importancia de la molécula afectada, la lesión biológica será más o menos importante. Otras alteraciones en la célula y su núcleo tras la exposición a rayos X son la cariorrexis, picnosis y cariólisis. Con respecto a la cariorrexis, cromatina condensada y picnosis pueden ser indicativos de apoptosis, mientras que al existir cariólisis sugiere respuesta ante un efecto citotóxico que se puede traducir en necrosis (27).

**c. Fase de efecto biológico:** Efecto a nivel de estructuras celulares, subcelulares, tejidos y órganos:

- El efecto es variable, dependiendo de la sensibilidad de las células irradiadas (tipo, morfología, estado evolutivo).
- En general, el efecto es más intenso en sistemas de mayor actividad reproductiva, mayor potencia cariocinética y menor diferenciación morfológica y funcional.
- El efecto sobre los órganos puede afectar su funcionalidad, desde las fases metabólicas hasta sus funciones específicas (2).

Las lesiones sucesivas incrementarán el daño sin posibilidad de reparación; a este fenómeno lo conocemos como efecto acumulativo de la radiación (28). A pesar de que existe una serie de enzimas reparadoras que actúan restableciendo la integridad molecular, en el caso de lesiones más graves se pueden producir daños biológicos como mutaciones puntuales o graves cambios en la estructura del DNA que son irreversibles. Además, pueden aparecer afectaciones en los cromosomas, y sufrir cambios estructurales importantes por acción de la radiación, ya sea directa o indirecta, como rupturas de estos cromosomas cuyos fragmentos pueden volver a unirse y

repararse totalmente o pueden unirse a otros fragmentos mutilados, y dar origen a nuevos cromosomas diferentes a los normales (2). La exposición repetida a rayos X como agente citotóxico es capaz de inducir a una lesión celular crónica, lo que genera una proliferación celular compensatoria que conlleva a hiperplasia que permite la generación de tumores (27). En una investigación realizada por Aquino y colaboradores, en México, concluyeron que el personal odontológico está expuesto a una dosis ínfima de radiación, siempre y cuando se utilicen las medidas de protección, de esta forma no existe riesgo alguno, Por tanto, creemos que es responsabilidad de la administración de los servicios velar porque el personal que labora en estas actividades tenga una carga de trabajo acorde a los límites permisibles y que cada uno de ellos porte los dosímetros para su posterior evaluación (11). En la práctica odontológica se puede contribuir a la disminución en la exposición a radiaciones en profesionales, estudiantes y pacientes mediante la adquisición de conocimiento básico y uso controlado de rayos X, puesto que muchas veces por el argumento de que las dosis utilizadas son bajas y no continuas, se ignora el uso indiscriminado e injustificado, sin considerar que las dosis recibidas aumentan con la frecuencia de exposición tanto en pacientes como en profesionales y estudiantes en la atención odontológica (27). Las dosis permitidas son de 0.1 rem por semana 3 rems por 13 semanas y 5 rems por año. La dosis acumulada en el curso de varios años de trabajo es de  $5(N-18)$  donde N equivale a la edad después de los 18 años, estas dosis se aplican a todos los tejidos corporales (34).

### 3. Objetivos

**3.1. Objetivo General.** Cuantificar el nivel de radiación dispersa utilizando equipos de radiología dental portátil, mediante un equipo medidor de radiación Geiger, expresada en milisieverts/hora.

#### 3.2. Objetivos Específicos

- 1) Medir el nivel de radiación dispersa detectada al momento de tomar una radiografía periapical, en ambientes contiguos al equipo DX 3000 (Dexcowin Co. Ltd, Seúl, Corea).
- 2) Medir el nivel de radiación dispersa detectada al momento de tomar una radiografía periapical, en ambientes contiguos al equipo Prox (Digimed Co., Seúl, Corea).
- 3) Medir el nivel de radiación dispersa detectada al momento de tomar una radiografía periapical, en ambientes contiguos al equipo Port X-II (Genoray Co. Ltd., Seongnam, Corea).
- 4) Medir el nivel de radiación dispersa detectada al momento de tomar una radiografía periapical, en ambientes contiguos al equipo Nomad Pro (Aribex Inc., Orem, EE.UU.).
- 5) Determinar si la radiación dispersa emitida por cada uno de los 4 equipos está dentro de los límites permitidos por la reglamentación del Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

#### 4. Método

##### 4.1. Tipo de estudio: Observacional analítico de corte transversal (55)

##### 4.2. Selección de la Muestra

4.2.1. **Población:** equipos de radiología dental portátil.

4.2.2. **Muestra:** 4 equipos de radiología intraoral.

##### 4.2.3. Criterios de selección.

- **Criterios de selección:** Los equipos dispuestos para este estudio fueron seleccionados por conveniencia y accesibilidad del grupo investigador.
- **Criterios de exclusión:** Equipos que en el momento de la toma de la muestra no estaban disponibles o tuviesen fallas técnicas.

##### 4.3. Variables para el análisis del problema de investigación

Tabla 5. Clasificación de las Variables.

Nombre variable	Definición Conceptual	Definición Variables Operativa	Naturaleza	Escala de Medición	Valores de la variable
Nivel de Radiación dispersa	Algunos rayos X no son absorbidos por el objeto a irradiar y se produce una radiación secundaria	Radiación secundaria detectada en ambientes contiguos al equipo de Rx Geiger marca: Stephen. modelo 6000	Cuantitativa	Continua (Unidad de medida: Milisievert)	Permitida: = ó < a 20 mSv por año No permitida: > 20 mSv por año
Distancia	Espacio determinado en metros entre el equipo de rayos X y el equipo medidor de radiación dispersa	Distancia entre el equipo de Rayos X y el medidor de radiación dada en metros	Cuantitativa	Continua	Retro dispersión (Operador) Lateralidad a 2 m. de la fuente de radiación (Equipo Rayos X)
Equipo de rayos X portátil	Equipos que permiten obtención y visualización de imágenes radiográficas mediante un haz de rayos X.	Aparato portátil diseñado para tomar radiografías intraorales.	Cualitativa	Nominal	Nomad Pro Port X-II Prox DX 3000

**4.4. Instrumentos para la recolección de datos.** El estudio se realizó en el Centro de imágenes diagnósticas de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga, en horas no laborables, de acuerdo a los objetivos del estudio no se requirió la participación de pacientes.

#### 4.4.1. Equipos y materiales

- Equipo de Rayos X: Nomad Pro (Aribex Inc., Orem, EE.UU.) (Fig. 11)
- Equipo de Rayos X: Port X-II (Genoray Co. Ltd. Seongnam, Corea) (Fig. 12)
- Equipo de Rayos X: DX 3000 - (Dexcowin, Co. Ltd, Seúl, Corea). (Fig. 13)
- Equipo de Rayos X: Prox (Digimed Co., Seúl, Corea) (Fig. 14)



Figura 11. Equipo Nomad Pro



Figura 12. Equipo Port X-II



Figura 13. Equipo DX 3000



Figura 14. Equipo Prox

Los parámetros del tiempo de exposición fueron: para la toma de una radiografía dental de un molar de adulto:

- Nomad Pro: tiempo de exposición 0,38 seg. 59.5 kV, 2,5 mA.
- Port X-II: tiempo de exposición 0,40 seg. 61.5 kV, 2 mA.
- DX 3000: tiempo de exposición 1,10 seg. 60.8 kV ,1 mA.
- Prox: tiempo de exposición 1,10 seg. 60 kV, 2 mA.
- Equipo medidor portátil de radiación dispersa
- Fantoma: botella con agua.



Figura 15. Geiger, Marca: Stephen. Modelo 6000. Serie 1004076.

Cada propietario de los equipos a evaluar firmó un consentimiento informado para su uso durante la investigación, incluyendo la hoja de vida de cada uno

**4.5. Procedimiento.** Se solicitó la colaboración y autorización para realizar la toma de muestra en el Centro de imágenes diagnósticas de la Universidad Santo Tomás - Floridablanca, a la gerencia administrativa de clínicas.

En primera instancia se establecieron los lugares de medición de radiación dispersa en los que también se llevó a cabo la inspección del equipo radiológico, de acuerdo a la localización de los aparatos de rayos X.



Figura 16. Situación A: de Retrodispersión



Figura 17. Situación B: lateral a 2 metros.

Se procedió a medir la radiación de fondo (ambiente) antes de realizar las tomas radiográficas con los 4 equipos portátiles, utilizando un equipo medidor portátil Geiger compensado para tejido humano. Marca: Stephen. Modelo 6000. Serie 1004076. La cual fue  $0,6 \mu\text{Sv/hora}$ .

Cada uno de los equipos radiográficos portátiles (Nomad Pro, Port X-II, Dexcowin y Prox) se ajustaron para la toma de un molar en el panel de control, se ubicó como objeto a irradiar un fantoma de agua que simule la constitución del cuerpo humano como paciente, éste genera radiación dispersa que es captada por el mismo equipo medido Geiger ubicado en las siguientes situaciones:

- **10 tomas radiográficas para la situación A:** En retro dispersión situado detrás del equipo de radiología dental portátil, para medir la radiación recibida por el operador.
- **10 tomas radiográficas para la situación B:** Situado en lateralidad a 2 metros de distancia del equipo de radiología dental portátil. Con la intención de simular el personal auxiliar expuesto.

Para un total de 20 tomas radiográficas por cada equipo portátil. Las cuales fueron tomadas por las estudiantes de la presente investigación, bajo medidas de radioprotección con el uso de chalecos plomados y adicionalmente un protector de plomo adicional por delante del rostro del operador, quien acciono el equipo de radiología dental portátil, con el fin de proteger la exposición a la radiación. (Figura. 18)



Figura 18. Medidas de radioprotección

La unidad de medida utilizada para cuantificar la radiación dispersa fue Milisievert por hora (mSv/h).

Todos los datos obtenidos fueron analizados para calcular la radiación dispersa estimada en Milisievert/hora, estos datos también fueron extrapolados al año para así relacionarlos con la dosis permitida en la reglamentación del Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

A continuación, se presentan dos diagramas de las dos situaciones para la toma de la muestra:

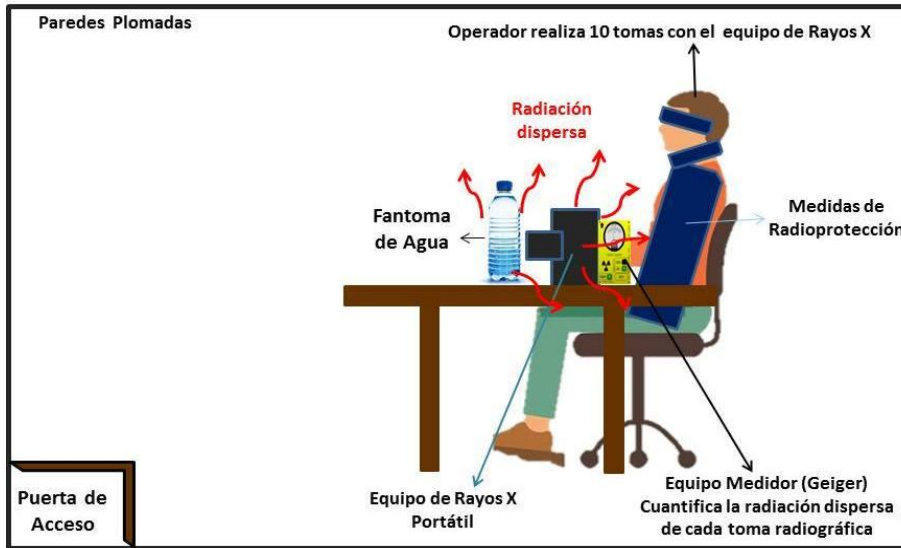


Figura 19. Situación A toma de la muestra en retro dispersión, operador.

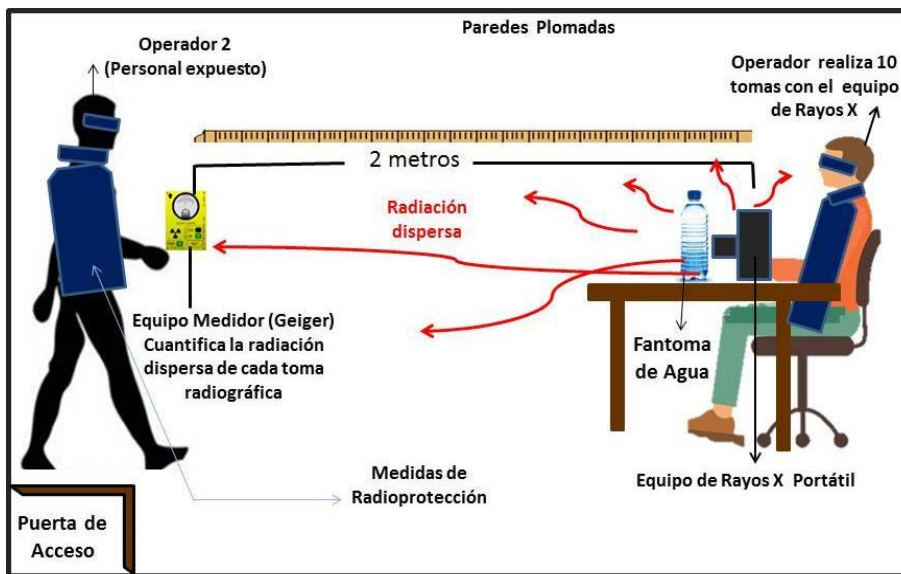


Figura 20. Situación B toma de la muestra en lateralidad a dos metros de distancia.

**4.6. Plan de análisis estadístico.** Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el software estadístico SPSS en su versión 23 del año 2015, propiedad de IBM. La información obtenida se digitó en una base de datos en una hoja de cálculo en Microsoft Excel 2016.

Para describir las variables cuantitativas como el nivel de radiación dispersa se presentó la media, mediana y desviación estándar para cada una de las mediciones obtenidas para cada equipo.

Para identificar si hubo diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones obtenidas (medias) entre los equipos, se aplicó el test de ANOVA.

Para el cálculo de las exposiciones anuales que hace un odontólogo- endodoncista se realiza una regla matemática donde se toma en cuenta el número de horas laboradas, número de radiografías realizadas y tiempo de exposición de cada equipo.

Se hizo una relación del número de horas de la jornada laboral del ministerio de trabajo, un promedio del número de horas que se utilizan los equipos de Rayos X portátiles y el número de Radiografías diarias que se realizan, de la siguiente manera:

Número de horas en promedio de trabajo de los equipos de Rayos X por los especialistas:

- Horas por día (**5h**). 8 radiografías
- Días Laborados por Semana: (**5días**) x 8 Radiografías diarias = **40 Rx semanales**
- Semanas por año 38

**Asumiendo con el primer equipo Dexconwin (Figura 21)**



Tiempo de exposición: **1,10** segundos multiplicado por **100 Rx semanales** son 110 segundos semanales multiplicado por 50 semanas/año son 5500seg /año = 1,5 h/ año.

*Figura 21. Equipo Dx 3000, donde se observa el tiempo de exposición 1.10 seg. Para la toma de una radiografía de un molar para un paciente adulto.*

En resumen, se toman 100 radiografías semanales, con un tiempo de exposición en promedio de **1,10** segundos (Figura 21), es decir 110 segundos de exposición semanales, que al año el tiempo total de exposición (Se multiplicó 110 segundos semanales por 50 semanas al año) serán 5500 segundos = **1,5 horas**, que es el tiempo de exposición al año para el operador que active el equipo de radiología dental portátil. Este tiempo de exposición anual se multiplica por cada muestra evaluada en este estudio tanto en la zona del operador como en radiación lateral a dos metros de distancia de la fuente de radiación, para así obtener la media de los datos extrapolados al año y así compararlos con la dosis permitida anualmente para el personal ocupacionalmente expuesto dada por la reglamentación del Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (46) (Tabla 6).

Tabla 6, Extrapolación anual de la muestra para el equipo DX 3000, Dexcowin.

Muestra (10)	Tiempo de exposición anual(hora)	Operador msv /año	Muestra (10)	Tiempo de exposición anual(hora)	Lateral msv /año
Operador			Lateral		
0,138	1,5	<b>0,207</b>	0,123	1,5	<b>0,184</b>
0,09	1,5	<b>0,135</b>	0,096	1,5	<b>0,144</b>
0,148	1,5	<b>0,222</b>	0,16	1,5	<b>0,24</b>
0,11	1,5	<b>0,165</b>	0,15	1,5	<b>0,225</b>
0,12	1,5	<b>0,18</b>	0,121	1,5	<b>0,181</b>
0,146	1,5	<b>0,219</b>	0,14	1,5	<b>0,21</b>
0,11	1,5	<b>0,165</b>	0,120	1,5	<b>0,18</b>
0,135	1,5	<b>0,202</b>	0,120	1,5	<b>0,18</b>
0,10	1,5	<b>0,15</b>	0,14	1,5	<b>0,21</b>
0,08	1,5	<b>0,12</b>	0,095	1,5	<b>0,142</b>

Media en operador/año 0,176 mSv/año

Media en lateral/año 0,171 mSv/año

\*Dosis permitida por la reglamentación del Ministerio de Minas y Energía de Colombia **20mSv/año**

**4.7. Implicaciones Bioéticas.** Las Consideraciones éticas de este trabajo están basadas en la resolución 008430/93 emitida por el Ministerio de Salud en Colombia el cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para investigación en salud. Se trata de un estudio de riesgo mínimo donde no habrá intervención ni exposición de sujetos.

## 5. Resultados

**5.1. Radiación dispersa en el operador.** Después de ajustar los equipos de acuerdo al fabricante para la toma de una radiografía de un molar de adulto, la mediana de la radiación dispersa de las 10 tomas en la situación A (Operador) se pueden expresar de la siguiente manera para cada equipo (Tabla 7):

Tabla 7. Radiación dispersa operador, descripción estadística de cada equipo.

Equipo		Radiación Dispersa Operador	Límite Mínimo	Límite Máximo
<b>DX 3000</b>	<b>Media</b>	<b>0,117</b>	0,080	0,148
	Mediana	0,115		
	Desviación estándar	0,023		
<b>Prox</b>	<b>Media</b>	<b>0,124</b>	0,096	0,167
	Mediana	0,111		
	Desviación Estándar	0,026		
<b>Port X-II</b>	<b>Media</b>	<b>0,166</b>	0,118	0,205
	Mediana	0,165		
	Desviación estándar	0,029		
<b>Nomad Pro</b>	<b>Media</b>	<b>0,011</b>	0,008	0,015
	Mediana	0,012		
	Desviación estándar	0,002		
<b>Total</b>	<b>Media</b>	<b>0,105</b>	0,008	0,205
	Desviación estándar	0,061		

- El equipo que tuvo mayores niveles de radiación para el operador fue Port X-II con un valor mínimo de 0,118 mSv/hora y máximo de 0,205 mSv/hora, donde los valores se distribuyen de manera más asimétrica que los otros equipos con un valor atípico por fuera del rango intercuantil y los valores por encima de la mediana son aún más.
- El equipo Prox y el equipo DX 3000 presentan medianas similares pero la distribución de los valores del equipo DX 3000 tiene mayor dispersión con un valor mínimo de 0,080 mSv/hora y máximo de 0,148 mSv/hora.
- El equipo Nomad Pro es el equipo con menor radiación al operador, por lo que sus valores son homogéneos. El valor mínimo obtenido es 0,008 mSv/hora y máximo de 0,015 mSv/hora.

Se representa la distribución de los valores para cada equipo de acuerdo a la mediana en la Figura 22.

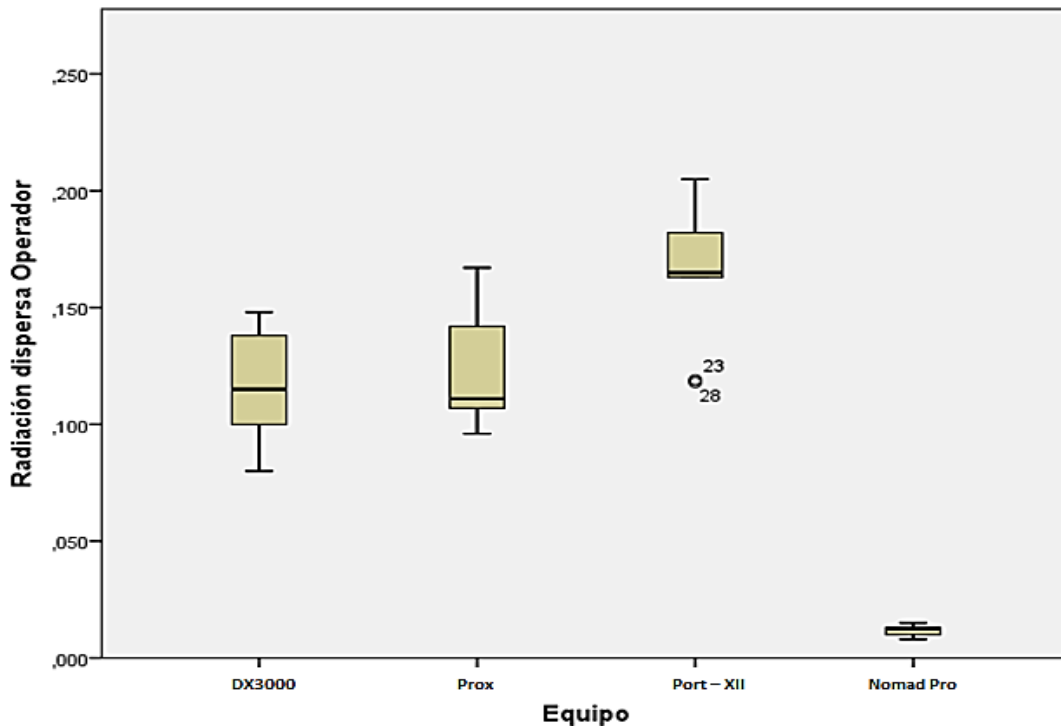


Figura 22. Radiación dispersa/operador.

La figura 22 representa la distribución de los valores de cada equipo para la radiación dispersa en el operador en diagrama de cajas, se ve como el equipo que genera mayor radiación en esta situación es Port X-II, además destaca la poca radiación emitida por el equipo Nomad Pro y los equipos DX 3000 y Prox son relativamente similares con diferencias en la distribución de sus valores de acuerdo a la mediana.

**5.2. Radiación dispersa en lateralidad.** Después de ajustar los equipos de acuerdo al fabricante para la toma de una radiografía periapical de un molar de adulto, la mediana de los valores obtenidos de las 10 tomas en la situación B (Lateralidad a dos metros de distancia de la fuente) se observa en la tabla 8.

- El equipo Prox presenta el mayor nivel de radiación dispersa en lateralidad con un valor mínimo de 0,125 mSv/hora y un máximo de 0,160 mSv/hora, la distribución de los valores por encima y por debajo de la mediana tienen una dispersión similar.
- Para el equipo DX 3000 el valor mínimo es de 0,095 mSv/hora y como valor máximo de radiación dispersa es 0,160 mSv/hora, los valores por encima de la mediana tienen mayor dispersión.
- El equipo Port X-II es uno de los equipos que presenta menor radiación y los valores se distribuyen de manera homogénea con respecto a la mediana, tiene un valor mínimo de 0,051 mSv/hora y un máximo de 0,084 mSv/hora.
- El equipo Nomad Pro nuevamente presenta menor radiación dispersa en lateralidad, con

resultados homogéneos con respecto a la mediana, tiene un valor mínimo de 0,008 mSv/hora y un valor máximo de 0,018 mSv/hora.

Tabla 8. Radiación dispersa – lateral, descripción estadística de cada equipo.

Equipo		Radiación Dispersa Lateral	Límite Mínimo	Límite Máximo
<b>Dx 3000</b>	<b>Media</b>	<b>0,126</b>	0,095	0,160
	Mediana	0,122		
	Desviación estándar	0,021		
<b>Prox</b>	<b>Media</b>	<b>0,158</b>	0,125	0,190
	Mediana	0,163		
	Desviación estándar	0,022		
<b>Port X-II</b>	<b>Media</b>	<b>0,066</b>	0,051	0,084
	Mediana	0,067		
	Desviación estándar	0,013		
<b>Nomad Pro</b>	<b>Media</b>	<b>0,013</b>	0,008	0,018
	Mediana	0,014		
	Desviación estándar	0,003		
<b>Total</b>	<b>Media</b>	<b>0,091</b>	0,008	0,190
	Desviación estándar	0,058		

En la figura 23, se observa la distribución de los valores de cada equipo de acuerdo a la media, en el equipo DX 3000 tuvo mayor número de valores por encima de la media, siendo el límite máximo en 0,160 mSv/hora y el límite inferior 0,095 mSv/hora. En el equipo Prox se distribuyeron los valores más equitativamente, con un límite máximo de 0,190 mSv/hora y el límite inferior 0,125 mSv/hora, en el equipo Port X-II de igual manera los valores se distribuyen equitativamente con valor máximo de 0,084 mSv/hora y un mínimo de 0,051 mSv /hora, con el equipo Nomad Pro se vuelven a observar resultados distribuidos alrededor de la media, siendo valor máximo 0,018 y mínimo 0,008 mSv /hora (Figura 23).

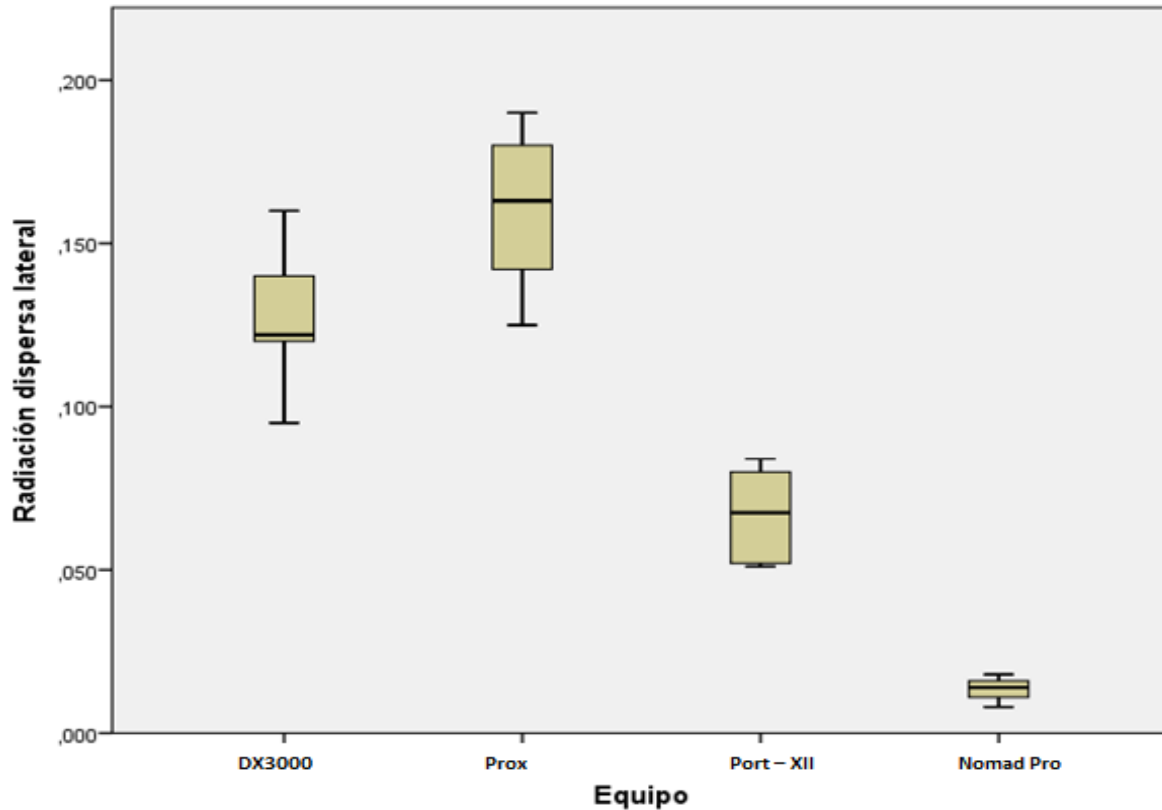


Figura 23. Radiación dispersa/lateral.

En resumen la media del Equipo Nomad Pro, es notablemente diferente de las demás, en los datos obtenidos para la radiación – operador y radiación – lateral. Esto denota que este equipo se comporta mejor en cuanto a la radiación emitida.

En este estudio se tiene una muestra de 20 tomas radiográficas por cada equipo, por lo tanto se aplicó la prueba Shapiro –Wilk para determinar la normalidad en la distribución de los datos donde los valores de radiación dispersa tanto en operador como en lateralidad se distribuyeron normalmente, ya que la significancia fue superior a 0,05 ( $p > 0,05$ ). (Tabla 8).

Tabla 9. Estadístico Shapiro - Wilk

	Equipo	Valor P
<b>Radiación dispersa operador</b>	DX 3000	<b>0,587</b>
	Prox	<b>0,068</b>
	Port X – II	<b>0,178</b>
	Nomad Pro	<b>0,462</b>
<b>Radiación dispersa Lateral</b>	DX 3000	<b>0,515</b>
	Prox	<b>0,533</b>
	Port X – II	<b>0,099</b>
	Nomad Pro	<b>0,698</b>

Se compararon las mediciones obtenidas por los diferentes equipos por medio de la prueba ANOVA, donde se comprueba estadísticamente que estos 4 equipos son distintos tanto para la radiación dispersa del operador como la radiación dispersa lateral. Con un resultado de  $p < 0,05$ , ver tabla 9.

Tabla 10. Estadístico ANOVA

ANOVA		Valor P
Radiación dispersa operador	Entre equipos	0,001
Radiación dispersa lateral	Entre equipos	0,001

Para agrupar los equipos que no difieren estadísticamente entre si se aplicó la prueba Tukey, donde se observa que los equipos DX 3000/Dexcowin y Prox son relativamente similares en la radiación obtenida cuando el equipo medidor de radiación Geiger se ubicó en Operador, como se ve en la siguiente tabla 11.

Tabla 11. Se visualizan las medias para los equipos de radiología dental portatil y los subconjuntos homogéneos generados con la prueba Tukey. Para la muestra de Radiación Dispersa Operador.

Equipo	N	Radiación Dispersa Operador		
		1	2	3
Nomad	10	0,01190		
Dexconwin	10	0,11770		
Prox	10	0,12460		
Genoray	10	0,16620		
<b>Sig.</b>		1,000	0,909	1,000

N: Número de tomas radiográficas.

\*Límite permitido **20 mSv/año** por el Ministerio de Energía y Minas de Colombia.

En caso contrario para la radiación dispersa lateral todos los equipos se comportan de manera diferente, demostrado con la prueba estadística Tukey. (Tabla 12).

Tabla 12. Se visualizan las medias para los equipos de radiología dental portátil, los subconjuntos generados con la prueba Tukey para la muestra de Radiación Dispersa Lateral.

Equipo	N	Radiación Dispersa Lateral			
		1	2	3	4
Nomad	10	0,01350			
Genoray	10		0,06600		
Dexconwin	10			0,12650	
Prox	10				0,15830
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

N: Número de tomas radiográficas.

Tabla 13. Radiación dispersa operador extrapolada a mSv/año

EQUIPO		Radiación Dispersa Operador msv/año
Dx 3000	Media	0,176
Prox	Media	0,186
Port X – II	Media	0,091
Nomad Pro	Media	0,006

\*Límite permitido **20 mSv/año** por el Ministerio Minas y Energía de Colombia.

Tabla 14. Radiación dispersa lateral extrapolada a mSv/año

Equipo		Radiación Dispersa Lateral msv/Año
Dx 3000	Media	0,171
Prox	Media	0,237
Port X – II	Media	0,0363
Nomad Pro	Media	0,007

Extrapolando los valores al año de la exposición en el operador (Tabla 13) y de la exposición en lateralidad (Tabla 14) resulta una dosis por debajo de los límites permitidos ocupacionalmente por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia y son compatibles con lo referenciado por el fabricante.

**6. Discusión.** la estimación global anual para el diagnóstico dental, es de unos 520 millones de radiografías dentales en todo el mundo, lo que constituye una situación donde los profesionales del área de la salud perciben que los odontólogos son los que más se irradian (56). Por lo tanto, es una obligación del profesional hacer uso racional de estas técnicas sin afectar con ello el diagnóstico. De acuerdo a Napier y cols. Aproximadamente el 75% de la radiación ejecutada es recibida por el paciente, definida como dosis absorbida (57). Por su parte, la exposición a la radiación de fuga y la radiación dispersa de un equipo portátil es absorbida por el operador, según algunos autores estas exposiciones son inferiores a los límites ocupacionalmente permitidos por las directrices de seguridad radiológica establecidos de 20 mSv por año (7)(58)(59). De igual manera en esta investigación hemos podido determinar que la cantidad de radiación dispersa en ambientes contiguos a los equipos de rayos X portátiles está por debajo del límite permitido anualmente, con valores que oscilan entre 0,006 y 0,176 mSv/año a nivel de operador y 0,007 y 0,171 mSv/año a dos metros de distancia de la fuente de radiación. Sin embargo, la exposición del operador a la radiación puede ser mitigada por el uso de dispositivos de blindaje como el escudo protector para reducir la exposición de fuga y la retrodispersión, lo que mantiene el principio ALARA “tan bajo como sea razonablemente posible”.

El uso de equipos de radiografía dental portátil cada vez sigue aumentando en los consultorios odontológicos y es motivo de preocupación los riesgos a los cuales el operador está siendo expuesto diariamente, si no se aplican ciertas medidas de radioprotección pueden o no conllevar a resultados no deseados a nivel sistémico, ya que estos equipos generalmente se activan directamente en la mano del operador. Con todo esto los estudios siempre sugieren la combinación de tecnologías en pro del cuidado de la salud de los operarios, como son los sistemas digitales (sensores o placas de fósforos) que utilizan menos tiempo de exposición y por ende habrá menos radiación dispersa ya que el paciente absorbe menos radiación siendo éste el principal foco emisor de la radiación dispersa. Aproximadamente el 58% de los dentistas en Corea utiliza sistemas digitales, ya que en un estudio se observó que la media de absorción en el paciente y la radiación del área de trabajo con el sistema análogo (película) eran 3.05mGy y 84,4 mGy cm<sup>2</sup>, respectivamente, y las de los sistemas digitales son 1,35 mGy y 38,8 mGy cm<sup>2</sup>, respectivamente, los cuales eran mucho más bajos que los valores para el tipo de película radiográfica , (60).

En el presente estudio la media de la radiación dispersa para el operador a nivel de la mano, en cada uno de los equipos evaluados (Nomad Pro, Port X-II, DX 3000, Prox), estuvieron por debajo de 0,166 mSv/h, el cual fue el mayor valor obtenido por el equipo Port X-II , y al realizar la extrapolación anual, los valores también permanecen muy por debajo de 1mSv siendo 20 mSv la dosis permitida por año, satisfaciendo así el principio ALARA para esta clase de exposiciones ocupacionales. Un estudio similar a esta investigación, evaluó la dosis de radiación dispersa en operador bajo las condiciones y recomendaciones del fabricante, los resultados indicaron que la dosis era menor que 0,6 mSv. Lo que sugiere que los equipos portátiles bien diseñados están por debajo de 1,0 mSv (2% del límite anual de dosis ocupacional). (61).

Es importante destacar la aprobación por la FDA de un equipo portátil, ya que un estudio donde compararon 2 equipos , uno aprobado y otro no, encontraron que el dispositivo no aprobado plantea importantes riesgos de seguridad, incluyendo altas dosis de radiación a los pacientes y los operadores, estos dispositivos de bajo costo carecen de las medidas de seguridad necesarias como

son blindaje adecuado para proteger al operador de retrodispersión de Rayos X, una filtración adecuada para minimizar la exposición a la tejidos blandos adyacentes al campo de visión deseado e inapropiada colimación (62). En este estudio todos los equipos evaluados están aprobados por la reglamentación de la FDA, todos cuentan con diferentes características y las medidas de seguridad necesarias, adicionalmente el Nomad Pro y DX 3000 poseen un escudo de retrodispersión, de acuerdo a los resultados obtenidos estos 2 equipos a pesar de no ser una gran diferencia, obtuvieron los valores más bajos corroborando que el escudo brinda mayor protección, siempre y cuando el operador se ubique por detrás del equipo portátil sin sobrepasar el eje imaginario que proyecta el escudo.

Pero en el caso de la radiación lateral (situación B) a pesar de estar más lejos del equipo de Rayos X se observaron valores más altos en los equipos DX 3000 y Prox ya que de acuerdo al fabricante tienen un tiempo de exposición establecido de 1.10 segundos para molares con el sistema análogo, este tiempo es mayor que en los otros 2 equipos (Nomad Pro y Port X-II) lo cual aumentara la producción de fotones y por lo tanto mayor radiación, ya que a ésta se le suma la radiación de fuga, la radiación dispersa propiamente dicha y la radiación residual a pesar de estos resultados ninguno de los equipos evaluados están por encima del límite permitido (20 mSv/año) (63).

En contraste a la presente investigación, la facultad de odontología de la Universidad de Dankook, en Corea compararon equipos de Rayos X portátil y equipos de pared recomendando el uso prudencial del sistema portátil, ya que la dosis efectiva en la radiografía periapical utilizando el equipo de pared fue menor que el sistema portátil, un aspecto importante a destacar en dicho estudio ajustaron los equipos de pared con mayor Kilovoltaje y mayor miliamperaje que los equipos portátiles, por lo tanto al aumentar estos dos factores, el tiempo de exposición se reduce porque son inversamente proporcional, y por consiguiente menos radiación efectiva y absorbida. (64). Por otra parte, investigaciones anteriores indicaron que las dosis para los sistemas portátiles son significativamente menores que los sistemas fijos de pared donde la dosis mensual promedio para los sistemas portátiles fue de 0,28 mSv vs. 7,86 mSv para los sistemas fijos de pared, una diferencia que es estadísticamente significativa. (51) En el presente estudio no se realizó una comparación con los sistemas fijos de pared, pero los resultados obtenidos corroboraron que los equipos portátiles registran dosis tan bajas como los estudios anteriormente mencionados.

En salud pública la mayor preocupación, es la protección de las personas que están relativamente expuestas a bajas dosis, prolongada o exposiciones fraccionados, investigaciones en Corea examinaron la asociación entre la dosis de radiación efectiva supervisado de los trabajadores de radiación de diagnóstico y el riesgo de cáncer. Ninguno de los tipos de cáncer específicos mostró un aumento del riesgo en los trabajadores con más de 5 mSv de la dosis de exposición anual en comparación con dosis menor a 5 mSv anual a excepción de la leucemia ya que es un cáncer cuya manifestación ocurre 2-5 años después de la exposición a la radiación. Un hallazgo interesante es el hecho de que el nivel de exposición ocupacional en los sujetos del estudio es muy bajo (mediana de exposición promedio anual: 0,38 mSv. Teniendo en cuenta el hecho de que en estudios anteriores reportaron un aumento significativo del riesgo de cáncer ya que podrían haber estado expuestos a altos niveles de radiación ionizante. En segundo lugar, el período de latencia mínima para la mayoría de los cánceres sólidos es de 10-20 años y el período de seguimiento en ese estudio fue de 3 a 5 años no es suficiente para estimar el riesgo de cánceres sólidos con excepción de la leucemia (65).

Los autores de este estudio declaran no tener ningún conflicto de interés, como ninguna relación comercial con los proveedores de los equipos usados y de no haber recibido beneficios económicos o subsidios de cualquier fuente que tenga algún interés en los resultados de esta investigación.

**6.1. Conclusiones.** En el presente estudio todos los equipos de radiología portátil mostraron dosis muy bajas de radiación en especial el Nomad Pro el cual representa uno de los equipos más confiables en materia de seguridad radiológica ya que fue el que mostró la dosis más baja para el operador (media 0,011 mSv/h) por otra parte el equipo Port X – II mostró la dosis más alta en operador (media 0,166 mSv/h) pero sin sobrepasar los límites permitidos. Con respecto a la radiación dispersa lateral el equipo Nomad Pro vuelve a presentar la menor radiación(0,013mSv/h), mientras que el equipo el Port X – II a pesar de tener la media más alta en la situación A (operador)estuvo entre los valores más bajos de la radiación dispersa lateral, lo que se puede explicar de la siguiente manera, el tiempo de exposición de los dos equipos fueron similares (0,38 y 0,40 segundos respectivamente), la exposición a la radiación es menos absorbida por el paciente y por lo tanto hay menos dispersión en el ambiente.

Al extrapolar los valores obtenidos están muy por debajo del límite permitido (20 mSv/ Año) siendo los equipos Nomad Pro y Port X-II los valores más bajos para el operador de 0,006mSv/año y 0,091mSv/año respectivamente ya que son los equipos que utilizan menos tiempo de exposición según el fabricante.

En este estudio se determinó que durante la activación del equipo de Rayos X portátil al colocar el equipo medidor tipo Geiger por dentro delantal de plomo no había registro de radiación dispersa lo cual es importante resaltar el uso de barreras de plomo para mayor radioprotección, con los resultados obtenidos en el presente estudio que estuvieron muy por debajo del límite permitido de igual forma fomentamos la conciencia del uso de barreras de radioproteccion , ya que por pequeña que sea la dosis puede traer cambios a nivel celular, esto puede variar de un individuo a otro dependiendo de la edad, genero, tipo y tiempo de exposición, también es necesario el uso de dosimetría personal, e incluso la combinación con sistemas de radiografías que requieren menor tiempo de exposición como los sistemas digitales, todo esto para mantener el principio ALARA “tan bajo como sea razonablemente posible”.

La innovación tecnológica con estos equipos portátiles radiográficos conlleva a una gran ventaja en cuanto a la disminución del tiempo de trabajo de un tratamiento, comodidad tanto para paciente como para el operador ya que ninguno tiene la necesidad de desplazarse durante el procedimiento, exactitud ya que la toma radiográfica se hace de manera más rápida, y fácil almacenamiento dentro de un consultorio odontológico.

El tiempo de exposición recomendado para la toma de radiografías puede variar y disminuir sin afectar la calidad de la imagen hay sistemas de radiología digital donde se necesita menos dosis para el paciente y por lo tanto se genera menor radiación dispersa.

**6.2. Recomendaciones.** De acuerdo a lo revisado se pueden implementar técnicas que apunten a la disminución en cuanto a la radiación absorbida por el operador y el personal ocupacionalmente expuesto durante la toma de radiografías intraorales, entre ellas recomendamos la combinación de equipos de radiología dental con sistemas de radiografía digital, ya sea placa de fosforo o sensor

digital que reducen significativamente la dosis absorbida por el paciente y el operador, ya que requieren menor tiempo de exposición.

Se sugiere la implementación adicional de un escudo de retrodispersión en el equipo portátil radiológico, que disminuye la cantidad de radiación la cual es absorbida directamente por el operador, pudiendo esto ser sustentado por medio de los resultados obtenidos en este estudio, al evaluar 2 equipos que si lo presentan (Nomad Pro –Dx 3000) con equipos que no lo tienen (Prox – Port X-II), donde se observa que la radiación en el operador es menor cuando se utilizan equipos radiológicos portátiles con escudo de retrodispersión, siempre y cuando el operador se ubique por detrás y paralelo al escudo durante la toma de radiografías ,ya que así nos proporciona mayor área de seguridad.

También se puede añadir en el consultorio dental una barrera móvil plomada donde el operador se ubique por detrás de ésta, y pueda activar el equipo portátil introduciendo solo el brazo , el cual estará protegido a su vez por el escudo del equipo y de esta manera garantizar total protección a la mayor parte del cuerpo.

Existe la posibilidad de adicionar un trípode que soporte el equipo de radiología dental portátil y tomar la radiografía a distancia como se realiza con un equipo convencional de pared, para estar más alejados del foco emisor de la radiación como lo es el equipo y el paciente.

Siguiendo el principio de ALARA “Tan bajo como sea razonablemente posible” se debe exigir el uso de las medidas de radioprotección personales tanto para el operador como paciente como son chalecos de plomo y gafas plomadas ya que el cristalino es uno de los tejidos más vulnerables a la radiación.

El profesional encargado de manejar el equipo radiológico portátil deberá llevar su dosímetro personal, para detectar posibles incrementos de la dosis, proporcionando valores mensuales, podemos saber si los valores se mantienen por debajo de los permitidos. Deben emplearse durante toda la jornada laboral a la altura del pecho y si de alguna manera se usa algún tipo de radioprotección debe ir siempre por debajo del delatan plomado. Además se recomienda que si el trabajador porta otro dosímetro en otra empresa, se deben incluir estos datos dosimétricos con el objetivo de monitorear la radiación total recibida por el profesional en su historial mensual.

El uso de estos equipos portátiles como pudimos concluir no supera la dosis admitida anualmente establecida por la reglamentación del Ministerio de Energía y Minas de Colombia, pero dentro de lo posible para el profesional, el equipo de radiología dental portátil se usaría para pacientes que tengan limitaciones para trasportarse al cuarto de radiología, debido a una enfermedad debilitante o trauma, y/o durante una cirugía oral.

Otro aspecto importante es realizar investigaciones donde se pueda variar o disminuir el tiempo de exposición del equipo sin afectar la calidad de la imagen ya que hay sistemas de radiología digital que indican si se está sobreexponiendo o subexponiendo el sensor, según el grado de sensibilidad de éste, entonces se recomienda la calibración de los equipos de Rayos X para hacer tomas radiográficas con menor tiempo de exposición lo cual es muy significativo en términos de radioprotección disminuyendo la dosis de radiación producida por el equipo, es decir la dosis efectiva.

Observando las diferentes conclusiones que han obtenido estudios de otros países (57)(64), se sugiere realizar investigaciones en Colombia donde comparen las dosis obtenidas con equipos portátiles y equipos fijos de pared, para así obtener conclusiones más homogéneas con respecto a la radiación dispersa entre ambos equipos.

En Colombia de acuerdo al Ministerio de Minas y Energía se establece el uso de barreras y paredes plomadas dentro de consultorios y hospitales de manera general para todos los equipos de radiación ionizante, como conclusión del presente estudio e investigaciones referidas; la radiación emitida por los equipos portátiles está muy por debajo de la dosis permitida, por la ICRP, en el caso de usar solo equipos portátiles en el consultorio odontológico, se puede optar por un diseño seguro y estratégico, cumpliendo con la normatividad vigente en la legislación colombiana, donde el paciente este ubicado de manera que el haz directo se dirija a zonas desocupadas como ventanas, pasillos o escaleras de poca concurrencia y el operador además utilice los elementos de protección adecuados. Debido a los efectos estocásticos o probabilísticos, donde no existe una dosis o nivel de exposición mínimo que nos evite la posibilidad de carcinogénesis o efectos genéticos.

## 7. Referencias Bibliográficas

- (1) Harin JJ, L. editor. Radiología dental: principios y técnicas. 2 edición. ed. México: McGray-Hill Interamericana. 615p; 2002.
- (2) Fuentes P,L, Felipe T,S, Valencia F,V. Efectos Biológicos de los Rayo-X en la Práctica de Estomatología. 2015;14(3), Revista Habanera de Ciencias Médicas, 337--347.
- (3) ICRP, Sociedad Española de Protección Radiológica. Publicación 103: Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Ann ICRP 2007;37(2-4).
- (4) Rai B, Kaur J. Evidence-based forensic dentistry. capitulo 14,pag141 ed.: Springer Science & Business Media; 2012.
- (5) Jeong Y, Ch., Won J, H. The reduction methods of operator's radiation dose for portable dental X-ray machines. July 31, 2012(Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Dankook University Colledge of Dentistry, Cheonan, Korea):160-164.
- (6) U.S. Food and Drug Administration Protecting and Promoting Your Health. Device Registration and Listing. 04/04/2016; Available at: <http://www.fda.gov/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/HowtoMarketYourDevice/RegistrationandListing/default.htm>.
- (7) Danforth RA, Herschaft EE, Leonowich JA. Operator Exposure to Scatter Radiation from a Portable Hand-held Dental Radiation Emitting Device (Aribex™ NOMAD™) While Making 915 Intraoral Dental Radiographs\*. J Forensic Sci 2009;54(2):415-421.
- (8) Ley IX de 1979.Medidas Sanitarias - Radiofísica Sanitaria. 24 enero 1979.:Artículo 149-Artículo 154 . Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. [www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177](http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177).
- (9) “Por la cual se adopta el Reglamento para la gestión de desechos radiactivos en Colombia” Resolución Número 18 0005. 05 Enero 2010:1-26 Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia.
- (10) Barbieri P, G., Flores G, J., Escribano B, M., Discepoli N. Actualización en radiología dental. Radiología convencional Vs digital. 2006;22-2:131-139.
- (11) Aquino I, Marino. C, Avilés P, Romero M, Bojorge J, Ramírez V. Cuantificación de la dosis absorbida por medio de dosimetría termoluminiscente en radiología dental. Revista Odontológica Mexicana Diciembre 2010;Vol. 14, Núm.:231-236.
- (12) United Nations. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation editor. Effects of ionizing radiation: UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with scientific annexes. : United Nations Publications; 2009.

- (13) Goodhead DT. New radiobiological, radiation risk and radiation protection paradigms. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 2010;687(1):13-16.
- (14) Beir V. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. *BEIR VII phase 2006*;2.
- (15) Bonassi S, Au WW. Biomarkers in molecular epidemiology studies for health risk prediction. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 2002;511(1):73-86.
- (16) Cancio D, Rudelli M, et al. Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Publicación 103 de la ICRP ed. ed. Madrid: Senda Editorial S.A.; 2007.
- (17) Brymer P, McManus T, Murray A. Portable X-Ray Machines. *Ont Dent* 2014 Jan;91(1):8-8.
- (18) Feldman BN. Off the Wall. *Ont Dent* 2013 10;90(8):8-8.
- (19) Jacob R, Vanderstappen M, Bogaerts R, Gijbels F. Attitude of the Belgian dentist population towards radiation protection. *Dentomaxillofacial Radiology* 2004 09;33(5):334-339.
- (20) Convenin. Protección contra las radiaciones ionizantes provenientes de fuentes externas usadas en medicina. Parte 2: Radioterapia. 2002;218-2.
- (21) Martínez NL. Consideraciones de seguridad en el diseño de un consultorio odontológico. *Fundación Acta Odontológica Venezolana* 22/04/2008 2009;47 N° 3:1-16.
- (22) Delgado O, Fernández O., Leyton F, Rodríguez, A., Tagle, S. Manual de Protección Radiológica y de Buenas Prácticas en Radiología Dento - Maxilo - Facial. Ministerio de Salud ed.: Instituto de Salud pública. Chile; 2008.
- (23) Missiry MA, Othman AI, Alabdan MA. Melatonin for protection against ionizing radiation. *Egypt - Kingdom of Saudi Arabia* 12, February, 2012 12, February, 2012 (Current Topics in Ionizing Radiation Research):443-469.
- (24) Haring JI, Lind LJ, Pacheco CC. Radiología dental: principios y técnicas. : McGraw-Hill Interamericana; 2002.
- (25) Dalsy Valiente de León. Higiene radiológica en la clínica dental de la facultad de odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el año 2001. Guatemala: Universidad de San Carlos; 2001.
- (26) Smith NJD, Phil MS editors. Radiografía dental. 968-18-1646-3 ed. México: LIMUSA; 1984.
- (27) Tirado A, L., González M, F., Sir M, F. Uso Controlado de los rayos X en la Práctica Odontológica. *Revista Ciencias de la Salud* 2015;13(1):99-112.
- (28) Guerrero Cancio M. Aspectos generales de protección radiológica en medicina nuclear.. 2012;0717 - 4055. (Alasbimn Journal).

- (29) Goren AD, Bonvento M, Biernacki J, Colosi DC. Radiation exposure with the NOMAD™ portable X-ray system. *Dentomaxillofacial Radiology* 2008 02;37(2):109-112.
- (30) Kim E. Effect of the amount of battery charge on tube voltage in different hand-held dental x-ray systems. *Imaging science in dentistry* 2012;42(1):1-4.
- (31) Holroyd J. Tianjie dental “Falcon” hand held x-ray set imported from China: summary of HPA radiation protection assessment results. Health Protection Agency, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards 2012.
- (32) U.S. Food and Drug Administration Protecting and Promoting Your Health. Illegal Sale of Potentially Unsafe Hand-held Dental X-Ray Units: FDA Safety Communication. 01/12/2015; Available at: <http://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/RadiationSafety/AlertsandNotices/ucm291214.htm>.
- (33) Herrera Lazo Gladys. Determinación de radiación dispersa detectada en ambientes contiguos a los aparatos de rayos X en la clínica dental de la facultad de odontología de la Universidad de San Carlos Guatemala en el año 2008. Guatemala: Universidad de San Carlos; 2010.
- (34) De Diana F, Segovia J, Castiglioni D, Vega C, Acosta NL, Gómez A. Exposición a radiación y daño genético: evaluación genotóxica en estudiantes de Odontología expuestos a rayos X durante radiografías dentales. *Seguridad y medio ambiente* 2012(127):45-53.
- (35) Cuenca Campoverde Sara. Evolución de la radiografía intraoral. Guayaquil: ; junio. 2012.
- (36) Brosed S, A., Ruiz M, P. Fundamentos de física médica. Vol. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad. España: ADI; 2012.
- (37) Finestres Z. Fernando editor. Protección en Radiología Odontológica. Universidad de Barcelona. Departamento de Odontoestomatología; 2012.
- (38) Daza P L, Camargo H. Manual de Radioprotección de la Facultad de odontología de la Universidad Nacional de Colombia. sede Bogota. 2012. Código: B-OD-MN-05.004.002:1-34.
- (39) White SC, Pharoah MJ. Oral radiology: principles and interpretation. Part I Foundations. 7th ed. Canada: Elsevier Health Sciences; 2014.
- (40) Turner DC, Kloos DK, Morton R. Radiation safety characteristics of the NOMAD™ portable x-ray system. Code of Federal Regulations, Title 2004;21(8).
- (41) Sewerin I, STOLTZE K. Blackening of unprotected dental X-ray films due to scattered radiation. *Eur J Oral Sci* 1988;96(2):161-166.
- (42) Palma R, Paucar R, Tolentino D, Herrera J, Gastelo E, Armas D. Evaluacion de la Dosis en Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos a través de Dosímetros Tipo Anillo y de Muñeca con un Fantoma Antropomórfico. Abril 13 to 16th, 2014 Cusco, Peru ISSSD 2014.

- (43) Wernli C. "External dosimetry: Operational quantities and their measurement. mayo 2004;Vol.15. Proceedings of the 11th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA).
- (44) Berketa JW, James H, Lake AW. Forensic odontology involvement in disaster victim identification. *Forensic science, medicine, and pathology* 2012;8(2):148-156.
- (45) Hosseini Pooya S, Hafezi L, Manafi F, Talaiepour A. Assessment of the radiological safety of a Genoray portable dental X-ray unit. *Dentomaxillofacial Radiology* 2014;44(3):20140255.
- (46) Potrakhov N, Potrakhov E, Gryaznov AY, Vasilyev AY, Balitsky N, Boychak D. Portable X-Ray Apparatuses for Dentistry and Maxillofacial Surgery. *Biomed Eng* 2013;46(5):183-185.
- (47) Quirós O, Quirós J. Radiología digital Ventajas, desventajas, implicaciones éticas. Revisión de la literatura. *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatria* "Ortodoncia.ws edición electrónica Agosto Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatria Depósito Legal N°: pp200102CS997 - ISSN: 1317-5823 .Agosto 2005.
- (48) Tewary S, Luzzo J, Hartwell G. Endodontic radiography: who is reading the digital radiograph? *J Endod* 2011;37(7):919-921.
- (49) Davies-Ludlow LE, White SC, Ludlow JB. Riesgo para el paciente relacionado con las exploraciones radiográficas dentales comunes. Impacto de la Comisión Internacional de 2007 sobre las recomendaciones de Protección Radiológica acerca del cálculo de dosis. *J Am Dent Assoc* 2008;3(6):307-313.
- (50) Zubeldia FF. Protección en radiología odontológica. : Edicions Universitat Barcelona; 2012.
- (51) Frommer H, Stabulas,Savage, Jeanine ,J. Radiología dental. ISBN 9786074481068: manual moderno; 2011.
- (52) Cuéllar G, Xavier. Eduardo. Manual de protección radiológica. Diciembre 28 de 2011;CC G-01:1-73.
- (53) Ministerio de Salud y Protección Social. Comité de Prestación de Servicios de Protección Radiológica. Bogotá, D C Colombia Enero 22 - 2014;No. 49.054.
- (54) Horner, Alejandro HidalgoChrysoula Theodorakouï Keith. Protección radiológica en tomografía computarizada. Cone-Beam en odontología. 2013.
- (55) Gimeno, Juan A. Repullo, Jose R. Rubio, Santiago. Salud Pública y Epidemiología. España: Díaz de Santos; 2006.
- (56) Jodar S, Alcaraz M, Martínez-Beneyto Y, Pérez L, Velasco E, López M. Manejo de las radiaciones ionizantes en instalaciones dentales españolas: intraorales y panorámicos. *Avances en Odontoestomatología* 2005;21(1):361-370.

- (57) Napier ID. Reference doses for dental radiography.. 1999 Apr 24 Apr 24;186(8):392-6.
- (58) Gray JE, Bailey ED, Ludlow JB. Dental staff doses with handheld dental intraoral x-ray units. *Health Phys* 2012 Feb;102(2):137-142.
- (59) Hermsen KP, Jaeger SS, Jaeger MA. Radiation Safety for the NOMAD™ Portable X-Ray System in a Temporary Morgue Setting. *J Forensic Sci* 2008;53(4):917-921.
- (60) Kim EK, Han WJ, Choi JW, Jung YH, Yoon SJ, Lee JS. Diagnostic reference levels in intraoral dental radiography in Korea. *Imaging science in dentistry* 2012;42(4):237-242.
- (61) McGiff TJ, Danforth RA, Herschaft EE. Maintaining radiation exposures as low as reasonably achievable (ALARA) for dental personnel operating portable hand-held x-ray equipment. *Health Phys* 2012 Aug;103(2 Suppl 2):S179-85.
- (62) Mahdian M, Pakchoian AJ, Dagdeviren D, Alzahrani A, Jalali E, Tadinada A, et al. Using hand-held dental x-ray devices: ensuring safety for patients and operators. *J Am Dent Assoc* 2014 Nov;145(11):1130-1132.
- (63) Alcaraz M, VELASCO E. Bases físicas y biológicas del radiodiagnóstico médico. Murcia: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia 2003:tema 5 pag 76-77.
- (64) Han W. Absorbed and effective dose for periapical radiography using portable and wall type dental X-ray machines. *The Journal of Korean Academy of Prosthodontics* 2012;50(3):184-190.
- (65) Choi K, Ha M, Lee WJ, Hwang S, Jeong M, Jin Y, et al. Cancer risk in diagnostic radiation workers in Korea from 1996–2002. *International journal of environmental research and public health* 2013;10(1):314-327.

## Apéndices

### Apéndice A. Consentimiento Informado



#### **CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA ESTUDIO DE INVESTIGACION EN EL SERVICIO DE RADIOLOGÍA DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS.**

Las estudiantes de IV semestre del posgrado de Endodoncia realizaran un estudio de investigación en el servicio de radiología de la universidad Santo tomas de Bucaramanga para el proyecto de tesis titulado: **Cuantificación del nivel de radiación dispersa en ambientes contiguos a los equipos de radiología intraoral portátil.**

Donde cada estudiante realizara 40 tomas radiográficas a un fantoma, con la aplicación de principios, leyes, y medidas conducentes a prevenir y minimizar los efectos indeseables cumpliéndose en este estudio con las Normas de radioprotección establecidas.

Las Radiaciones Ionizantes producen efectos biológicos y riesgo de daño celular en los seres humanos cuando no se toman las medidas necesarias, la dosis recibida en los exámenes odontológicos son dosis bajas, en el caso de los equipos de radiología dental, la dosis de una radiografía periapical equivale a 0,005 mSv, valor poco significativo si se considera que la dosis permitida es 20 mSv al año. Además, estas tomas radiográficas serán solo una muestra para poder extrapolar los resultados al año, representando un riesgo mínimo a la exposición, además los efectos adversos están relacionados por cantidades de radiación absorbida repetidamente durante un largo periodo.

Y para que así conste, se firma el presente consentimiento para realizar dicho estudio en Bucaramanga, el \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_

#### **Firma de Operadores incluidos en el estudio**

---

Carolina Cárdenas

---

Adriana Ximena Díaz

---

Lina María Reyes

**Apéndice B.**



**Consentimiento informado**

**Para uso de los equipos de trabajo**

Yo, \_\_\_\_\_ en representación de la empresa \_\_\_\_\_  
Autorizo a las estudiantes del posgrado de Endodoncia de la Universidad Santo Tomas de Bucaramanga, utilizar mi equipo de radiología dental portátil para realizar un trabajo de investigación con fines académicos.

A las siguientes estudiantes

Carolina Cárdenas C.C

Adriana Ximena Díaz C.C

Lina Maria Reyes C.C

Asimismo, se declara por el presente documento que han recibido las oportunas explicaciones sobre el correcto manejo del equipo mencionado anteriormente, y han sido instruidos acerca de los riesgos y medidas a adoptar para su utilización en el trabajo que habitualmente desarrollan.

En Bucaramanga \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 20 \_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Firmas de Empresa o propietarios.

C.C

**Apéndice C. Instrumentos de recolección de datos****Equipo 1. Dexcowin (Co. Ltd, Seúl, Corea).**

<b>Tomas Rx (Muestras)</b>	<b>Operador mSV/h</b>	<b>Lateral mSV/h</b>
<b>1</b>	0,138	0,123
<b>2</b>	0,09	0,096
<b>3</b>	0,148	0,16
<b>4</b>	0,11	0,15
<b>5</b>	0,12	0,121
<b>6</b>	0,146	0,14
<b>7</b>	0,11	0,120
<b>8</b>	0,135	0,120
<b>9</b>	0,10	0,14
<b>10</b>	0,08	0,095

**Equipo 2. Prox (Digimed Co., Seúl, Corea)**

<b>Tomas Rx (Muestras)</b>	<b>Operador mSv/h</b>	<b>Lateral mSv/h</b>
<b>1</b>	0,141	0,18
<b>2</b>	0,097	0,142
<b>3</b>	0,112	0,18
<b>4</b>	0,167	0,168
<b>5</b>	0,109	0,127
<b>6</b>	0,142	0,19
<b>7</b>	0,096	0,145
<b>8</b>	0,110	0,16
<b>9</b>	0,165	0,166
<b>10</b>	0,107	0,125

**Equipo 3.** Port X-II (Genoray Co. Ltd. Seongnam, Corea)

<b>Tomas Rx (Muestras)</b>	<b>Operador mSv/h</b>	<b>Lateral mSv/h</b>
<b>1</b>	0,205	0,084
<b>2</b>	0,164	0,054
<b>3</b>	0,118	0,07
<b>4</b>	0,164	0,068
<b>5</b>	0,182	0,051
<b>6</b>	0,200	0,082
<b>7</b>	0,163	0,052
<b>8</b>	0,119	0,08
<b>9</b>	0,166	0,067
<b>10</b>	0,181	0,052

**Equipo 4.** Nomad Pro (Aribex Inc., Orem, EE.UU.)

<b>Tomas Rx (Muestras)</b>	<b>Operador mSv/h</b>	<b>Lateral mSv/h</b>
<b>1</b>	0,015	0,013
<b>2</b>	0,014	0,015
<b>3</b>	0,009	0,016
<b>4</b>	0,012	0,017
<b>5</b>	0,012	0,009
<b>6</b>	0,013	0,011
<b>7</b>	0,013	0,014
<b>8</b>	0,008	0,014
<b>9</b>	0,013	0,018
<b>10</b>	0,010	0,008