



**UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE ESTOMATOLOGÍA**

**LIMITACIÓN DE DOSIS DE RAYOS X EN ODONTOLOGÍA. REVISIÓN
NARRATIVA**

X-RAY DOSE LIMITATION IN DENTISTRY. NARRATIVE REVIEW

Memoria presentada a la Escuela de Odontología de la Universidad de Talca como parte de los requisitos científicos exigidos para la obtención del título de Cirujano Dentista.

**ESTUDIANTES: VALENTINA MEJÍAS MORALES
CATALINA MORALES CORNEJO
PROFESOR GUÍA: DR. ALEJANDRO HIDALGO RIVAS
PROFESORA CO-GUÍA: DRA. LUCÍA BARBA RAMÍREZ**

TALCA - CHILE

2021

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2021

INFORMACIONES CIENTÍFICAS

Nombre del profesor guía
ALEJANDRO HIDALGO RIVAS
ORCID del profesor guía
https://orcid.org/0000000193419529
Google Scholar del profesor guía
https://scholar.google.cl/citations?hl=es&user=7u6sjagAAAAJ
Correo electrónico del profesor guía
ahidalgo@utalca.cl

DEDICATORIA

Queremos dedicar este trabajo a nuestras familias, por su apoyo y cariño incondicional durante toda nuestra vida y en especial en los tiempos más difíciles que vivimos en la carrera.

A nuestra amiga Fernanda por siempre entregarnos su apoyo y motivarnos a seguir adelante.

Nos dedicamos este trabajo por lograr que fuera posible, por creer en nuestras capacidades y nunca renunciar, aun cuando todo se veía cuesta arriba. Creemos haber hecho más el bien que el mal, tratamos de dar más que recibir y de ser siempre nosotras.

“Si no hubiera quienes triunfan contra toda probabilidad, creo que todo el mundo renunciaría” Stephen King

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestros profesores tutores que nos ayudaron a alcanzar este objetivo. Al doctor Alejandro Hidalgo por confiar en nuestras capacidades y guiarnos en esta aventura desde el primer día. A la doctora Lucía Barba que, pese a la distancia física y diferencia horaria, nos brindó de su tiempo y conocimiento.

Agradecemos a todos aquellos que nos ayudaron durante nuestra formación humana y profesional, quienes nos entregaron las herramientas necesarias para completar los objetivos académicos de esta etapa de nuestras vidas.

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
1.1. Palabras claves	1
2. ABSTRACT.....	2
2.1. Keywords	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
4. EFECTOS BIOLÓGICOS ADVERSOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE	5
5. PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	6
6. APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE LIMITACIÓN DE DOSIS EN ODONTOLOGÍA	7
6.1. Medidas básicas de protección radiológica operacional	7
6.2. Materiales de blindaje	9
6.3. Diseño de salas blindadas en odontología.....	11
6.4. Elementos de protección personal	13
6.5. Dosimetría en operador ocupacionalmente expuesto en odontología	14
7. EQUIPOS RADIOGRÁFICOS DENTALES PORTÁTILES	17
8. CONCLUSIONES	21
8. REFERENCIAS.....	22

1. RESUMEN

En odontología el uso de radiografías es frecuente, éstas se obtienen con rayos X, que son un tipo de radiación ionizante. Debido a que la exposición de estos rayos X sin control puede causar efectos biológicos adversos en el organismo del ser humano, es necesario aplicar principios de protección radiológica tanto para el paciente como para el operador. En el caso del operador el principio de protección radiológica que aplica es limitación de dosis. No existe literatura reciente que consolide los aspectos relacionados con el principio de limitación de dosis en odontología. La presente revisión narrativa agrupa la información relacionada al principio de limitación de dosis de radiación ionizante, enfocado en el personal ocupacionalmente expuesto y su aplicación en radiología dental.

1.1 Palabras claves.

Protección radiológica, Radiación ionizante, Radiografía dental.

2. ABSTRACT

In dentistry, the use of radiographs is frequent, which are obtained with X-rays, a type of ionizing radiation. Uncontrolled X-rays exposure may cause adverse biological effects in the human organism. It is, therefore, necessary to apply principles for radiation protection for both the patient and the operator. In the case of the operator, the radiation protection principle that applies is dose limitation. There is no recent literature that consolidates aspects on the principle of dose limitation in dentistry. The present narrative review groups the information on the principle of dose limitation, focused on occupationally exposed personnel and its appliance in dental radiology.

2.1 Keywords.

Radiation Protection, Ionizing Radiation, Dental Radiography.

3. INTRODUCCIÓN

En odontología el uso de equipos de rayos X, los cuales generan radiación ionizante (RI), es frecuente (1) y puede producir efectos biológicos adversos (2).

Los efectos biológicos adversos se clasifican en reacciones tisulares y efectos estocásticos (3). Las reacciones tisulares son causadas por altas dosis de RI (4), mientras que los efectos estocásticos no requieren un umbral para producirse, por lo que hasta las dosis de radiación más bajas pueden causarlos y son resultado del azar (5). Por ende, el principal objetivo de la protección radiológica en salud es evitar la manifestación de las reacciones tisulares y disminuir la probabilidad de aparición de efectos estocásticos (3). En odontología existe probabilidad de que ocurran efectos estocásticos, ya que las dosis de RI usadas suelen ser bajas y muy bajas (6).

Debido a los efectos biológicos adversos por RI, existen los principios de protección radiológica. Estos principios son: 1. Justificación, 2. Optimización, 3. Limitación de dosis. Los principios de Justificación y Optimización se orientan a proteger al paciente, encontrándose amplia información en la literatura (7, 8). El principio de Limitación de dosis, se relaciona con la protección del personal ocupacionalmente expuesto (POE) (2) y está menos documentado.

Para limitar la dosis de RI recibida por el POE en odontología se establecen dos medidas básicas de protección radiológica operacional: distancia y blindaje (9). El blindaje se relaciona con el uso de materiales que absorben RI (8), diseño de salas blindadas (9), y uso de elementos de protección personal (EPP), que limitan la dosis de RI recibida por el cuerpo (8). Además, es importante que el POE controle la cantidad de RI que ha recibido en el tiempo, a través de la dosimetría (9).

El uso de equipos radiográficos dentales portátiles (ERDP) se ha popularizado en odontología (9-11). Sin embargo, éstos deben ser sujetados por el operador del equipo, lo que podría aumentar la dosis de RI que recibe (9, 12, 13), por lo que su uso se contrapone con el principio de limitación de dosis.

El POE en odontología trabaja en ambientes en los que se generan frecuentemente bajas o muy bajas dosis de RI, es decir, la exposición es crónica y es uno de los principales riesgos laborales (14). Pese a esto, existe un escaso conocimiento por parte del POE sobre las medidas de protección y seguridad básicas en radiología (15-17).

No existe literatura reciente que consolide los aspectos relacionados con el principio de limitación de dosis en odontología, por lo que el propósito de la presente revisión narrativa es analizar aspectos relacionados con limitación de dosis de radiación ionizante del personal ocupacionalmente expuesto en odontología.

4. EFECTOS BIOLÓGICOS ADVERSOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

Para comprender la necesidad de aplicar el principio de limitación de dosis en odontología, es necesario conocer los efectos biológicos adversos de la RI.

Los equipos radiográficos generan rayos X para producir imágenes radiográficas de uso diagnóstico (1). Estos rayos X son RI, un tipo de energía liberada por los átomos, con capacidad de ionizar moléculas biológicas (18). Las RI pueden dañar el material genético, es decir, DNA (del inglés, “*deoxyribonucleic acid*”), produciendo desde inestabilidad genómica celular hasta muerte celular (19). Estos efectos producidos por exposición a RI se conocen como efectos biológicos adversos (1), y se clasifican en: reacciones tisulares - anteriormente llamados efectos determinísticos-, y efectos estocásticos (5).

Las reacciones tisulares se producen a altas dosis de RI, y dependen de la magnitud de la dosis de RI y del volumen del órgano o tejido irradiado (5). En el caso de radiología dental, las dosis son bajas o muy bajas por lo que estos efectos no debieran producirse (1). Ejemplos de reacciones tisulares son aplasia de la médula ósea, hemorragias, coma y muerte (19).

Por su parte, los efectos estocásticos, no están asociados a una dosis umbral de RI para su aparición, pudiendo generarse por exposición a dosis bajas o muy bajas (1), considerándose un efecto del azar (4). Según la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, del inglés, “*International Commission on Radiological Protection*”), el modelo de relación de efectos a bajas y muy bajas dosis de radiación señala que no hay dosis segura que garantice la no ocurrencia de efectos estocásticos (modelo lineal sin umbral, LNT, del inglés, “*linear non-threshold*”) (3, 4, 20). Cabe destacar que, si aumenta la frecuencia de exposición a dosis bajas o muy bajas de radiación, aumenta el riesgo de ocurrencia de efectos estocásticos (19). Entre los efectos estocásticos, el cáncer es el principal riesgo en odontología (4, 20).

5. PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Debido a los efectos biológicos adversos del uso de RI, y el efecto al azar de los efectos estocásticos, la ICRP plantea tres principios de protección radiológica:

I. Justificación: establece que el beneficio resultante de la exposición a RI debe ser mayor que el riesgo de exposición (4, 21), por ello, es importante evaluar la necesidad de realizar el examen radiológico (20). Así, no existen exámenes radiográficos de rutina y la indicación debe ser de acuerdo a cada caso, basándose en el historial y examen clínico del paciente (20, 21).

II. Optimización: tradicionalmente conocido como ALARA (Tan bajo como sea razonablemente posible, del inglés, “*As low as reasonably achievable*”). Este principio establece que la dosis de RI debe ser la mínima posible que asegure una imagen radiográfica que cumpla con el propósito de su indicación clínica (20-22). También debe evaluarse la técnica a usar, prefiriendo aquella que exponga menos al paciente a RI (20). Este principio comprende el proceso mental del radiólogo para reducir la dosis de RI a la que expone al paciente durante una toma radiográfica (4). Para ello el radiólogo debe evaluar cada caso según situación clínica y características del paciente, como por ejemplo la edad, el uso de dosis específicas de RI (4, 21), y análisis de necesidad de uso de EPP por el paciente (4).

III. Limitación de dosis: establece la dosis máxima de RI que puede recibir el POE y público general en un periodo de tiempo determinado, para garantizar la no aparición de reacciones tisulares y limitar la aparición de efectos estocásticos (4, 22). La aplicación de este principio es clave en la protección del POE (21), y no aplica a pacientes, ya que esto limitaría el uso de RI en diagnóstico y tratamiento de patologías (22).

6. APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE LIMITACIÓN DE DOSIS EN ODONTOLOGÍA

Esta sección se enfoca en la aplicación del principio de limitación de dosis para la protección del POE. Existen dos medidas básicas de protección radiológica operacional que permiten cumplir con el principio de limitación de dosis: distancia y blindaje (9). Con relación al blindaje, se profundiza en materiales de blindaje, diseño de salas blindadas, y uso de EPP. Además, el principio de limitación de dosis se relaciona con la dosimetría como método de vigilancia radiológica enfocada en POE.

6.1 Medidas básicas de protección radiológica operacional

Las medidas básicas de protección radiológica operacional tienen como objetivo reducir la exposición a RI del POE y público general, siendo el POE el encargado de ejecutarlas (9).

Distancia: para esta medida se aplica la ley del cuadrado inverso de la distancia (figura 1) (2, 9). Esta ley señala que al duplicar la distancia desde la fuente de radiación al sujeto de interés (en este caso al POE), se reduce la dosis de exposición a la cuarta parte con relación al punto inicial y así sucesivamente (2). La distancia a la que debe permanecer el POE en odontología al usar RI, es a 2 metros de la fuente de radiación (2, 9).

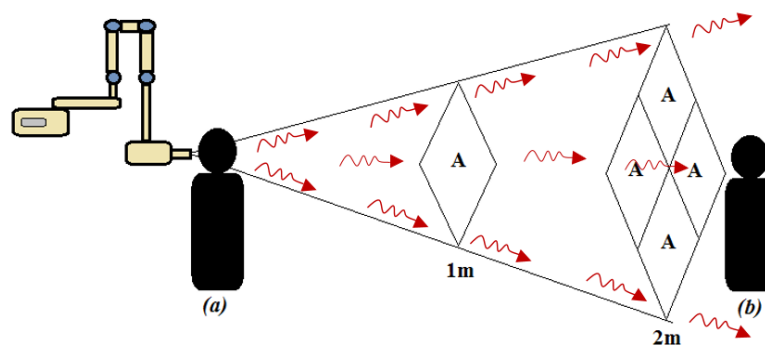


Figura 1. Ley del cuadrado inverso de la distancia. La radiación al doble de distancia (2m) de la fuente de radiación (equipo de rayos X) se esparce sobre el cuádruplo del área (A), por lo que disminuye la dosis de radiación ionizante que llega al personal ocupacionalmente expuesto (b).

También, según la regla de posición y distancia (figura 2) (9), el POE debe posicionarse en un ángulo de 90° a 135° al rayo central del haz de rayos X, ya que es una posición de mínima exposición a RI (9). Si no es posible mantener esta regla, debe contarse con una barrera blindada que otorgue protección a la RI, como un biombo plomado (9). Cabe destacar que el POE debe vigilar que la distancia como medida de protección radiológica sea aplicada al público general.

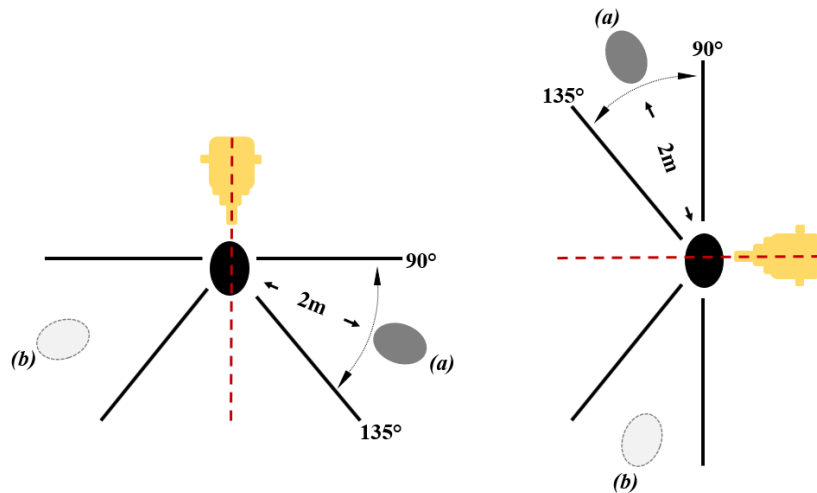


Figura 2. Regla de posición y distancia. El personal ocupacionalmente expuesto debe posicionarse en un ángulo de 90° a 135° al rayo central, a una distancia de 2 metros (2m), encontrando dos posibilidades de ubicación (a) y (b).

Blindaje: medida relacionada con el diseño estructural de la sala blindada, en relación con sus materiales de construcción (9), y los EPP (2). Esta medida ayuda a controlar la exposición de rayos X entre la fuente de RI con el POE y la población general (9).

6.2 Materiales de blindaje

El blindaje es la colocación de un material entre la fuente de RI y el entorno, que absorbe la RI (8), protegiendo al POE y público general (23).

Tradicionalmente se usa plomo como material de blindaje para salas blindadas y confección de EPP (9, 24, 25). Otras alternativas son: materiales libres de plomo (24) y materiales estructurales tradicionales (2, 9, 25), estos últimos son una opción económica y útil para el blindaje estructural en odontología (2, 9). Cualquier material de blindaje debe tener el grosor suficiente para reemplazar el blindaje que se obtendría con determinada cantidad de plomo, es decir, debe ser plomo equivalente (PbEq) (9).

- Materiales plomados

El plomo es un material fácil de manufacturar y otorga protección contra las RI (24). Tiene variadas presentaciones comerciales, siendo las láminas la más común (9, 26), estas tienen diferentes dimensiones y espesores, que van de 1 a 4 mm (26, 27). Como las láminas no son un material estructural, deben pegarse, atornillarse o clavarse sobre otra estructura, como los paneles de yeso. Para evitar la fuga de RI, deben considerarse los siguientes aspectos:

- Las perforaciones en la lámina de plomo deben compensarse usando tornillos o clavos de acero (25).
- Pueden usarse círculos de plomo autoadhesivos para tapar cabezas de clavos o tornillos (28).
- La superposición entre las láminas debe ser al menos 1,0-1,5 cm (25) o usar cinta plomada entre la unión de láminas.

En Chile, la marca Volcan© (Volcan, Santiago, Chile) ofrece cintas plomadas, círculos de plomo (28) y placas Volcanita PR-PC©. Estas placas tienen un núcleo de yeso y aditivos especiales que actúan como refuerzo para aumentar su fortaleza y resistencia al fuego. Además, están revestidas en ambas caras por un cartón de alta resistencia y tienen una lámina de plomo de 2-3 mm de espesor (28). Estas placas permiten una manipulación sencilla para construir salas blindadas, en comparación a las láminas de plomo.

También existe el acrílico plomado y vidrio plomado, los cuales se encuentran en diferentes dimensiones y espesores en milímetros de PbEq según se requiera (29, 30). Sin embargo, el acrílico plomado comparado con el vidrio es más grueso y pesado (30), pudiendo opacarse fácilmente al exponerse a RI o algunos químicos de limpieza (25, 30).

El plomo tiene como desventaja ser difícil de manipular por su elevado peso (24), y al ser tóxico al inhalarse o ingerirse, puede producir, a largo plazo, graves efectos en la salud de las persona difíciles de diagnosticar (24, 31). Estos efectos pueden ser neuropatía periférica, anemia, disminución de la fertilidad, ciclos menstruales anormales y afección de la función cognitiva (pérdida de memoria y dificultad para realizar actividades diarias) (31). Debido a su toxicidad, las láminas de plomo deben cubrirse con un material estructural para evitar el contacto con las personas (25).

- Materiales libres de plomo

Debido a las desventajas del plomo, existen materiales libres de plomo para construir salas blindadas y confeccionar EPP, tales como tungsteno, bismuto o bario (24, 25). Los materiales libres de plomo son igual o más eficaces que el plomo para blindaje, ya que sus altos números atómicos entregan protección contra las RI (24).

En el mercado hay productos que mezclan materiales libres de plomo con materiales estructurales tradicionales. Por ejemplo, la placa Safeboard KNAUF© (KNAUF, Iphofen, Alemania), de yeso-cartón, con un núcleo compuesto de yeso y sulfato de bario (32). También existen placas de Volcanita PR-B XRay© (Volcan, Santiago, Chile) que tienen un núcleo de sulfato de bario, yeso, fibra de vidrio y aditivos especiales (33).

- Materiales estructurales tradicionales

Para las salas blindadas en odontología pueden usarse materiales estructurales tradicionales como paneles de yeso, hormigón, acero, concreto, ladrillos y algunos cerámicos (2, 9, 25). Éstos materiales cumplirían una doble función: estructural y de blindaje (9). Sin embargo, deben considerarse los siguientes aspectos:

- Los materiales huecos (ladrillos y bloques) deben rellenarse con arena, mortero o alguna masa de cal o yeso (lechada) (25).

- El grosor necesario de estos materiales, para entregar la misma protección que el plomo contra las RI, es mayor. Por ejemplo, al usar acero, el grosor necesario sería 8 veces más que el plomo (25), y con paneles de yeso, un grosor de 12,7-20,3 cm podría blindar las paredes de una sala para radiografías intraorales (9).

6.3 Diseño de salas blindadas en odontología

Para determinar la necesidad de blindaje de la sala blindada, debe calcularse el grosor de blindaje. Este grosor indica el espesor de plomo o PbEq requerido en paredes, techo y suelo; para evitar la fuga de RI hacia el exterior (25) y es específico para cada sala (9). Para calcular el grosor del blindaje, se debe determinar los tipos de barrera a usar y calcular por separado el grosor de éstas (9, 25). Las barreras pueden ser, según el tipo de RI que reciben (figura 3), primarias o secundarias (9, 25).

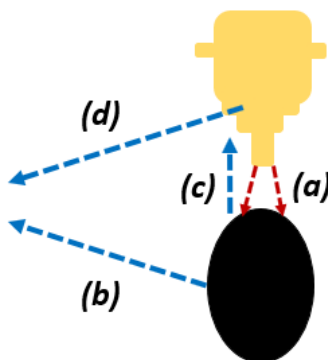


Figura 3. Tipos de radiaciones ionizantes. La radiación primaria es aquella que proviene directamente de la fuente de radiación y se denomina “haz primario” (a). La radiación secundaria puede ser dispersa o de fuga. Cuando el haz primario interactúa con la materia (paciente), puede cambiar su dirección y se denomina “radiación dispersa” (b), la cual también vuelve en la misma dirección en que fue emitida, denominándose “radiación retrodispersa” (c). La radiación que proviene directamente desde la fuente de radiación y que no es parte del haz primario, se denomina “radiación de fuga” (d).

Diversos softwares de pago permiten calcular el grosor de blindaje para la sala blindada, tales como “XRAYBARRS” y “RadShield” (34, 35). También hay softwares gratuitos como el de la página web de la FANR (del inglés, “*Federal Authority for Nuclear Regulation*”) (36). Sin embargo, es exclusiva responsabilidad de un experto calificado (EC) realizar este cálculo y no puede sustituirse con un software (2, 9).

Independiente del método a usar, para calcular el grosor de blindaje de la sala blindada, deben considerarse los siguientes factores (2, 9):

- 1) Carga de trabajo (W): grado de uso de la fuente de radiación (tubo de rayos X), que se expresa en unidades de miliamperios minutos por semana.
- 2) Kilovoltaje máximo (kVp) con que opera el equipo.
- 3) Determinar si el área a blindar (pared, suelo o techo) es una barrera primaria o secundaria.
- 4) Distancia desde la fuente de radiación hacia la barrera primaria o secundaria.
- 5) Factor de ocupación (T): fracción de tiempo que un espacio estará ocupado por un individuo cuando el equipo esté encendido.
- 6) Factor de uso (U): fracción de la carga de trabajo del haz primario que se proyecta hacia la barrera primaria.

En términos generales se indica que las salas blindadas con equipos de CBCT (del inglés, “*Cone-Beam Computed Tomography*”) deben tener paredes con un grosor de 0,5-1,5 mm PbEq aproximadamente (23), mientras que en salas con equipos de radiografía convencional (intraorales, telerradiografía de perfil y panorámicas), suele ser de 0,1-1,0 mm PbEq aproximadamente (2). El blindaje en paredes no debiera extenderse más allá de 2,1 m de altura (25).

Las salas blindadas en odontología no requieren blindaje adicional en muros, techos y suelo, ya que el grosor de los materiales estructurales es suficiente. Sin embargo, se requiere de blindaje adicional en tabiquería liviana, ventanas y puertas (2, 9, 25). Pueden usarse puertas blindadas, las cuales son de madera con un centro plomado y están disponibles en diferentes diseños y grosores (25, 37). Otra opción es agregar láminas de plomo a una puerta de madera sólida y cubrir el plomo con otro material. No obstante, el grosor de blindaje y el tipo de puerta a usar debe corroborarse con un EC (9).

6.4 Elementos de protección personal

Para proteger y disminuir la dosis de RI recibida por órganos radiosensibles expuestos al haz primario, se usan EPP como biombos, guantes, delantal, lentes y collar tiroideo (8, 9). Estos se confeccionan normalmente con plomo como material de blindaje, pero pueden usarse otros materiales, como el bismuto (23, 24). En odontología, el POE no está directamente expuesto al haz primario (1, 2, 9), por ende, no es necesario que use EPP (8). Sin embargo, se recomienda usarlos cuando el POE no pueda cumplir con la distancia como medida básica de protección, como lo es al manipular ERDP (38, 39).

A continuación, se describen características y uso de los EPP por parte del POE en odontología:

- **Biombo**

Estos protegen el cuerpo completo del POE durante la emisión de rayos X (9). Suelen tener forma rectangular, diferentes dimensiones (largo, ancho y alto) según se requiera, y pueden ser fijos o móviles (40). Deben tener un grosor de al menos 0,5 mm PbEq (41), que debe corroborarse por un EC (2). Los biombos se usan cuando no es posible cumplir con la distancia como medida básica de protección (1, 2, 9). Al usar CBCT, se recomienda que el POE salga de la sala al momento de la toma radiográfica, de no ser posible, debe ubicarse detrás del biombo (22). El biombo debe contar con ventanillas de observación de vidrio plomado o acrílico plomado para mantener comunicación y contacto visual con el paciente durante la toma radiográfica (9). También pueden usarse sistemas de videocámaras y monitores (9). Debe asegurarse que el interruptor que dispara los rayos X quede detrás del biombo (9).

- **Guantes**

Estos protegen las manos del operador de las radiaciones dispersas (42). Pueden estar hechos de diferentes materiales, existiendo inclusive modelos libres de látex, y pueden tener un grosor desde 0,03 a 0,5 mm PbEq (42). Se recomienda su uso solo a operadores de ERDP (12, 38). Cabe recordar que en situaciones donde el paciente no pueda sostener las

películas intraorales, deberá ser su acompañante quien las sostenga (2), nunca el POE (1, 2).

- Delantal

Este protege principalmente la zona abdominal y gonadal (2). Pueden encontrarse diferentes diseños y tallas, según se requiera (42) y deben tener un grosor de al menos 0,25mm PbEq (23). El uso de este por parte del POE está sujeto a lo que indica la normativa de cada país (2). Al usar los ERDP, se recomienda su uso como protección adicional para el operador del equipo (39).

- Lentes

Los lentes protegen el cristalino del ojo, que es un tejido radiosensible (3) y susceptible a la cataractogénesis, la que corresponde a una reacción tisular (3, 43, 44). En radiología dental, las dosis de RI usadas están muy por debajo del límite en que podrían inducir cataractogénesis (1, 45). Los lentes son fabricados con vidrio plomado o acrílico plomado y suelen tener un grosor de 0,75 mm PbEq (23, 46), encontrándose en diferentes diseños, como los tipo escudo facial. No existen estudios que analicen la disminución de dosis de RI recibida por operadores de ERDP con lentes plomados. Sin embargo, debido a que la cataractogénesis es un efecto tisular, sería difícil que con ERDP pudiera producirse. Se sugiere investigar al respecto para comparar dosis al cristalino con y sin lentes plomados.

- Collar Tiroideo

El collar tiroideo protege la glándula tiroidea, la cual es sensible a tumores radioinducidos de cabeza y cuello (2, 8, 9, 47). Existen collares tiroideos de diferentes tamaños y diseños (48), pero es importante que tengan un grosor de al menos 0,25mm PbEq (49). Se recomienda su uso como protección adicional al ocupar ERDP (39).

6.5 Dosimetría en operador ocupacionalmente expuesto en odontología

Debido a la generación de RI por equipos radiográficos odontológicos, es importante realizar una constante vigilancia radiológica del POE (4, 9, 22). Esta se realiza

por medio de la dosimetría, técnica que mide la exposición a RI (9). El objetivo de la dosimetría es registrar, evaluar, controlar e interpretar la dosis de RI, que el POE recibe y acumula en el tiempo (9, 50), y, su aplicación varía según la regulación de cada país. Existen diversos tipos de dosímetros, entre los de uso odontológico se encuentran: Dosímetros fílmicos, Dosímetros de termoluminiscencia y Dosímetros infolight de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL, del inglés, “*Optically Stimulated Luminescence*”) (9, 50). El dosímetro debe ubicarse en la zona anterior del tórax, cercana al área cardíaca, zona recomendada internacionalmente, ya que facilita una medición representativa en las zonas más expuestas a RI (50). Es importante que el POE cuente con dosímetro único para cada lugar de trabajo, ya que en caso de aumento de dosis debe establecerse el lugar en que ocurre, para determinar su causa (9).

Para el POE en su actividad laboral, la ICRP recomienda un valor límite de dosis efectiva de 20 milisievert (mSv) por año, promediada en periodos de 5 años (100 mSv en 5 años) (4). Como condición adicional, la dosis efectiva no debería exceder 50 mSv en cualquier año (4). La ICRP señala que no existe diferencia en valor límite de dosis entre POE, ya sean mujeres, en edad de procrear, u hombres, pero en caso de embarazo, notificarse al empleador (51). Esta notificación se realiza para que el empleador revise cuidadosamente las condiciones de exposición a RI de embarazadas (51). El Consejo Nacional de Protección y Mediciones de Radiación de Estados Unidos (NCRP, del inglés “*National Council on Radiation Protection and Measurements*”) establece un valor límite de dosis equivalente para el feto de 0.5 mSv por mes una vez que se declara el embarazo (9).

El valor límite de dosis para POE puede variar según la regulación de cada país (21). En Chile es regulado por el Decreto Supremo número 3 de 1985, que establece un límite de dosis equivalente de 50 mSv/año en el año. El límite de dosis para mujeres en edad de procrear no debe sobrepasar 12,5 mSv trimestrales por única vez en el año. En caso de embarazo no pueden recibir irradiación de origen ocupacional superior a 5 mSv al feto durante todo el período de gestación y hasta el término del embarazo.

En radiología dental las dosis de RI son bajas o muy bajas, por ello si el POE cumple con las medidas básicas de protección radiológica, puede mantenerse alejado del

valor límite de dosis recomendado, evitando el desarrollo de reacciones tisulares (1). Si el POE no se protege y no sigue las medidas básicas de protección, puede exponerse a dosis de RI, que aumentaría la probabilidad de desarrollo de efectos estocásticos (1, 19). Cabe destacar que la dosimetría, como medida de vigilancia, no supone un relajo en las medidas de seguridad y protección radiológica que debe cumplir el personal e infraestructura en todo centro radiológico.

7. EQUIPOS RADIOGRÁFICOS DENTALES PORTÁTILES

Con el uso de ERDP se presentan nuevos desafíos en busca de respetar el principio de limitación de dosis. Esto, debido a que durante la emisión de RI, el operador sostiene el ERDP, por lo que la medida básica de protección radiológica de distancia no puede ser aplicada (9).

Los ERDP cada vez son más usados en odontología, tanto en atención rutinaria de odontología general y otras áreas como odontología forense, cirugía oral, zonas de catástrofe y atención domiciliarias (9-11). Su uso ha incrementado debido a que la calidad de las radiografías obtenidas con ERDP es similar a la obtenida con equipos fijos de rayos X (9, 10, 12, 52).

Al usar ERDP, el operador debe verificar la calidad de dichos equipos en cuanto a sus características de blindaje, y seguir las indicaciones de su correcto uso según posición y distancia. Los ERDP usados correctamente generan niveles de exposición a RI al operador por debajo del valor límite de dosis recomendada para evitar el desarrollo de reacciones tisulares (12).

Para asegurar la no exposición del operador a dosis de RI que supere el valor límite de dosis, los ERDP deben contar con blindaje interno y blindaje externo (11, 39). Como blindaje interno deben contar con escudo de plomo, y como blindaje externo un disco acrílico plomado (12, 53), que permite proteger al operador absorbiendo la RI retrodispersa (figura 4) (11, 12, 38, 53). Éste disco puede ser removible o fijo, aun así, siempre debe usarse y debe tener un grosor mínimo de 0,25 mm PbEq y diámetro mínimo de 15,2 cm (11, 54). Los ERDP deben usarse con un cilindro que permita una distancia foco-piel de mínimo 20 cm para reducir las dosis de RI recibidas por el operador (11, 38). Se recomienda que el cilindro tenga un diámetro de 40x50 mm si es de sección rectangular (11), y entre 60-65 mm si es de sección circular (53). Esto ya que, a menor diámetro del cilindro, menor es la dosis de RI recibida por el paciente, disminuyendo así la RI retrodispersa que podría llegar al operador.

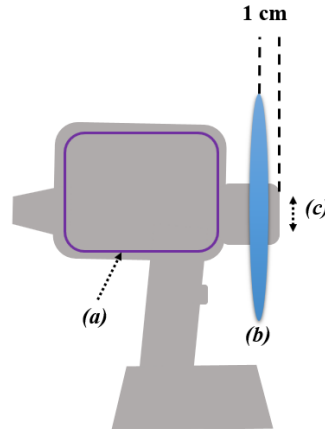


Figura 4. Blindaje de equipos radiográficos dentales portátiles. Los equipos deben tener escudo de plomo (a), disco acrílico plomado (b) ubicado a 1 cm del extremo del cilindro. El diámetro (c) debe estar dentro de los rangos recomendados.

En relación con la posición del ERDP, esta debe ser paralelo al piso, para que el rayo central tenga una angulación vertical de 0° (figura 5) (12). Para obtener la angulación que exige cada técnica radiográfica intraoral, debe modificarse la angulación de la cabeza del paciente, no la angulación del ERDP (figura 6) (55). Respecto de la distancia entre operador y ERDP, ésta debe equivaler al antebrazo del cuerpo (figura 5) (12).

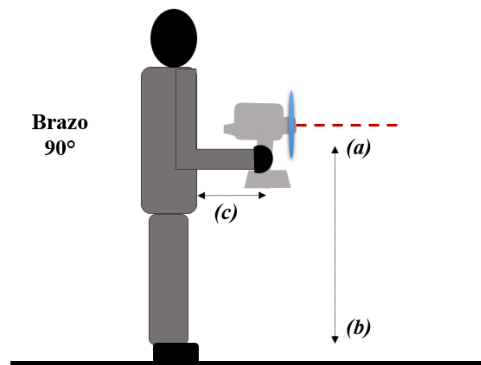


Figura 5. Posición del equipo radiográfico dental portátil. Posición de rayo central (a) paralelo al piso (b). Distancia entre equipo radiográfico dental portátil y operador equivalente al antebrazo (c).

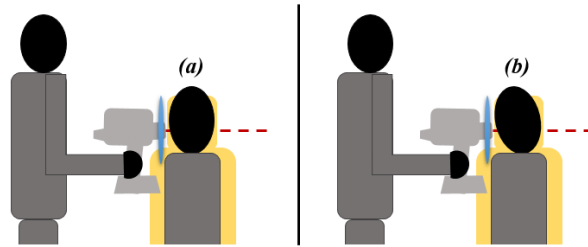


Figura 6. Posición de cabeza según técnica radiográfica. Diferencia en la angulación de la cabeza del paciente según la técnica radiográfica, Bitewing (a) y Periapical (b), el equipo radiográfico dental portátil se mantiene siempre paralelo al piso.

El mal uso del ERDP o el uso de ERDP que no cumplan con las características de blindaje y del cilindro mencionadas, podría aumentar la dosis de RI recibida por el operador, pudiendo superar el valor límite de dosis (9, 12, 13). El aumento de dosis de RI va contra el principio de limitación de dosis (11) y aumenta la probabilidad de producir efectos estocásticos (19), incluso podrían generar reacciones tisulares como quemaduras en la piel de las manos (56). Para evitar esto, se recomienda limitar el uso de ERDP a situaciones en que no pudiese usarse equipos fijos de rayos X, y no como su reemplazo (13).

Para el uso de ERDP, varios autores plantean la no necesidad de que el operador use EPP (9, 53, 57), otros señalan que el uso de EPP disminuye la dosis de RI recibida por el operador. El uso de guantes plomados disminuye de 3 a 4 veces la dosis de RI recibida en manos (38), y 300-600 veces en cuerpo completo con el uso de delantal plomado y collar tiroideo (39). Es importante recordar que los efectos estocásticos pueden producirse por exposición de dosis de RI muy bajas, y son efectos de naturaleza probabilística, por lo que cualquier dosis sobre cero aumenta la posibilidad de desarrollarlos (1, 4). Por ello, sería adecuado que los operadores que sostienen el ERDP durante la emisión de RI usen EPP. Cabe señalar que la opción más segura que disminuye el riesgo de exposición a RI es el aumento de distancia entre operador y ERDP mediante el uso de trípode para sostener el ERDP, disparador a distancia, y biombo plomado (13, 52).

Para disminuir la dosis de RI recibida por el operador durante el uso de ERDP se recomienda usar películas radiográficas con velocidades E-speed, F-speed o mayor, o receptores de imagen digital (8).

Internacionalmente se recomienda el uso de dosímetro, en especial dosímetro de anillo para las manos (11, 54) a operadores de ERDP durante el primer año, para confirmar los niveles de exposición a RI (9), aunque esto puede variar según la regulación de cada país.

8. CONCLUSIONES

La exposición a RI en odontología puede producir efectos biológicos adversos en el POE si este no aplica el principio de protección radiológica de limitación de dosis. Es importante que el POE conozca los efectos biológicos adversos que puede producir el uso de RI, ya que ninguna dosis de RI es segura (58, 59).

Debido al riesgo de desarrollo de efectos biológicos adversos en las personas expuestas a RI (20), es relevante el conocimiento y aplicación de los principios y medidas básicas de protección radiológica por parte del POE. La aplicación de estos principios permite controlar y reducir la exposición a RI, y así disminuir el riesgo para la salud que puede conllevar su uso y malas prácticas.

El blindaje es una medida básica de protección radiológica esencial para la seguridad del POE (9). Por ello es importante saber que materiales de blindaje son usados y las normativas que los rigen, así también su aplicación en el diseño de salas blindadas en odontología y EPP.

Los ERDP son sostenidos por el operador, lo que aumenta el riesgo de desarrollo de efectos biológicos adversos.

9. REFERENCIAS

1. Singh G, Sood A, Kaur A, Gupta D. Pathogenesis, clinical features, diagnosis, and management of radiation hazards in dentistry. *Open Dent J.* 2018;12:742-52. doi: 10.2174/1745017901814010742.
2. European Commission. European guidelines on radiation protection in dental radiology: the safe use of radiographs in dental practice N° 136. 2004 (citado el 20 de abril de 2021). Disponible en: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/136.pdf>
3. International Commission on Radiological Protection. ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs--threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP publication 118. *Ann ICRP.* 2012.
4. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP.* 2007.
5. International Commission on Radiological Protection. Radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology. ICRP publication 121. *Ann ICRP.* 2013.
6. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR 2019 report to the General Assembly, with scientific annexes. New York: United Nations: Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2020.
7. Wilson LJ, Newhauser WD. Justification and optimization of radiation exposures: a new framework to aggregate arbitrary detriments and benefits. *Radiat Environ Biophys.* 2020;59(3):389-405. doi: 10.1007/s00411-020-00855-w.

8. Crane GD, Abbott PV. Radiation shielding in dentistry: an update. *Aust Dent J.* 2016;61(3):277-81. doi: 10.1111/adj.12389.
9. National Council on Radiation Protection and Measurements. Radiation protection in dentistry and oral & maxillofacial imaging. NCRP Report No. 177. NCRP. 2019.
10. Goren AD, Bonvento M, Biernacki J, Colosi DC. Radiation exposure with the NOMAD portable X-ray system. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008;37(2):109-12. doi: 10.1259/dmfr/33303181.
11. Berkhout WE, Suomalainen A, Brüllmann D, Jacobs R, Horner K, Stamatakis HC. Justification and good practice in using handheld portable dental X-ray equipment: a position paper prepared by the European Academy of DentoMaxilloFacial Radiology (EADMFR). *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(6):20140343. doi: 10.1259/dmfr.20140343.
12. Makdissi J, Pawar RR, Johnson B, Chong BS. The effects of device position on the operator's radiation dose when using a handheld portable X-ray device. *Dentomaxillofac Radiol.* 2016;45(3):20150245. doi: 10.1259/dmfr.20150245.
13. Smith R, Tremblay R, Wardlaw GM. Evaluation of stray radiation to the operator for five hand-held dental X-ray devices. *Dentomaxillofac Radiol.* 2019;48(5):20180301. doi: 10.1259/dmfr.20180301.
14. Kim YJ, Cha ES, Lee WJ. Occupational radiation procedures and doses in South Korean dentists. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2016;44(5):476-84. doi: 10.1111/cdoe.12237.
15. An SY, Lee KM, Lee JS. Korean dentists' perceptions and attitudes regarding radiation safety and protection. *Dentomaxillofac Radiol.* 2018;47(3):20170228. doi: 10.1259/dmfr.20170228.

16. Furmaniak KZ, Kołodziejska MA, Szopiński KT. Radiation awareness among dentists, radiographers and students. *Dentomaxillofac Radiol.* 2016;45(8):20160097. doi: 10.1259/dmfr.20160097.
17. Ilgüy D, Ilgüy M, Dinçer S, Bayirli G. Survey of dental radiological practice in Turkey. *Dentomaxillofac Radiol.* 2005;34(4):222-7. doi: 10.1259/dmfr/22885703.
18. OMS. Ionizing radiation, health effects and protective measures. 2016 (citado el 27 de octubre de 2021). Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>
19. Burgio E, Piscitelli P, Migliore L. Ionizing Radiation and human health: reviewing models of exposure and mechanisms of cellular damage. An epigenetic perspective. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15(9). doi: 10.3390/ijerph15091971.
20. White SC, Mallya SM. Update on the biological effects of ionizing radiation, relative dose factors and radiation hygiene. *Aust Dent J.* 2012;57 Suppl 1:2-8. doi: 10.1111/j.1834-7819.2011.01665.x.
21. Barba Ramírez L, Ruiz E, Hidalgo Rivas A. El uso de rayos X en odontología y la importancia de la justificación de exámenes radiográficos. *Avances en odontoestomatología.* 2020;36:131-42.
22. European Commission. Radiation protection : Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology N° 172. 2012 (citado el 20 de abril de 2021). Disponible en: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/172.pdf>
23. International Commission on Radiological Protection. Radiological protection in Cone Beam Computed Tomography (CBCT). ICRP Publication 129. *Ann ICRP.* 2015.

24. Li Z, Zhou W, Zhang X, Gao Y, Guo S. High-efficiency, flexibility and lead-free X-ray shielding multilayered polymer composites: layered structure design and shielding mechanism. *Scientific Reports*. 2021;11(1):4384. doi: 10.1038/s41598-021-83031-4.
25. National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design for medical X-ray imaging facilities. NCRP Report No.147. NCRP. 2005.
26. Protección Radiológica Ltda. Láminas plomadas (citado el 25 de agosto de 2021). Disponible en: <https://www.proteccionradiologica.cl/laminas-plomadas/>
27. INGENIERIA V. Láminas de plomo (citado el 25 de agosto de 2021). Disponible en: <https://venettoingenieria.cl/wp/productos/>
28. VOLCAN. Volcanita PR-P (citado el 25 de agosto de 2021). Disponible en: <https://www.volcan.cl/productos/volcanitas-para-proteccion-radiologica/volcanita-pr-p>
29. Protección Radiológica Ltda. Vidrios plomados (citado el 25 de agosto de 2021). Disponible en: <https://www.proteccionradiologica.cl/vidrios-plomados/>
30. MarShield. Lead X-ray glass vs. lead plastic acrylic (citado el 26 de agosto de 2021). Disponible en: https://marshield.com/wp-content/uploads/2013/05/Lead-Glass-vs_-Lead-Acrylic-PDF.pdf
31. Miracle VA. Lead poisoning in children and adults. *Dimens Crit Care Nurs*. 2017;36(1):71-3. doi: 10.1097/dcc.0000000000000227.
32. KNAUF. Placa de blindaje para protección radiológica a rayos X Safeboard (citado el 25 de agosto de 2021). Disponible en: <http://www.especificar.cl/fichas/placa-de-blindaje-para-proteccion-radiologica-a-rayos-x-safeboard>

33. VOLCAN. Volcanita PR-B XRAY (citado el 25 de agosto de 2021). Disponible en: <https://www.volcan.cl/productos/volcanitas-para-proteccion-radiologica/volcanita-pr-b-xray>
34. DeLorenzo MC, Wu DH, Yang K, Rutel IB. RadShield: semiautomated shielding design using a floor plan driven graphical user interface. *J Appl Clin Med Phys.* 2016;17(5):509-22. doi: 10.1120/jacmp.v17i5.6287.
35. Simpkin DJ. XRAYBARR - DSimpkin Medical Physics (citado el 25 de agosto de 2021). Disponible en: <https://sites.google.com/site/dsimpkinmedicalphysics/home/shielding/xraybarr>
36. Federal Authority for Nuclear Regulation. Shielding calculation United Arab Emirates (citado el 26 de octubre de 2021). Disponible en: https://www.fanr.gov.ae/en/services/others/shielding_calculation
37. Pitts Little Corporation. Lead lined doors (citado el 26 de octubre de 2021). Disponible en: <https://pittslittle.com/lead-lined-doors/>
38. Cho JY, Han WJ. The reduction methods of operator's radiation dose for portable dental X-ray machines. *Restor Dent Endod.* 2012;37(3):160-4. doi: 10.5395/rde.2012.37.3.160.
39. Hosseini Pooya SM, Hafezi L, Manafi F, Talaeipour AR. Assessment of the radiological safety of a Genoray portable dental X-ray unit. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(3):20140255. doi: 10.1259/dmfr.20140255.
40. Protección Radiológica Ltda. Biombos plomados (citado el 25 de agosto de 2021). Disponible en: <https://www.proteccionradiologica.cl/productos/biombos-plomados/>

41. National Council on Radiation Protection and Measurements. Radiation dose management for fluoroscopically guided interventional medical procedures. NCRP Report No.168. NCRP. 2011.
42. DuMed. Radiation protection - product catalog (citado el 01 de noviembre de 2021). Disponible en: https://dumedgroup.com/wp-content/uploads/Katalog_SE_2020-2.pdf
43. National Council on Radiation Protection and Measurements. Guidance on radiation dose limits for the lens of the eye. NCRP Commentary No 26. NCRP. 2016.
44. Rehani MM, Vano E, Ciraj-Bjelac O, Kleiman NJ. Radiation and cataract. Radiat Prot Dosimetry. 2011;147(1-2):300-4. doi: 10.1093/rpd/ncr299.
45. Dauer LT, Ainsbury EA, Dynlacht J, Hoel D, Klein BEK, Mayer D, et al. Guidance on radiation dose limits for the lens of the eye: overview of the recommendations in NCRP Commentary No. 26. Int J Radiat Biol. 2017;93(10):1015-23. doi: 10.1080/09553002.2017.1304669.
46. Protección Radiológica Ltda. Lentes plomados (citado el 01 de noviembre de 2021) Disponible en: <https://www.proteccionradiologica.cl/productos/lentes-plomados/>
47. Association AT. Policy statement on thyroid shielding during diagnostic medical and dental radiology. American Thyroid Association. 2013 (citado el 01 de noviembre de 2021). Disponible en: https://www.thyroid.org/wp-content/uploads/statements/ABS1223_policy_statement.pdf
48. Protección Radiológica Ltda. Cuellos plomados (citado el 01 de noviembre de 2021). Disponible en: <https://www.proteccionradiologica.cl/productos/cuellos-plomados/>
49. Pauwels R, Horner K, Vassileva J, Rehani MM. Thyroid shielding in cone beam computed tomography: recommendations towards appropriate use. Dentomaxillofac Radiol. 2019;48(7):20190014. doi: 10.1259/dmfr.20190014.

50. König AM, Etzel R, Thomas RP, Mahnken AH. Personal radiation protection and corresponding dosimetry in interventional radiology: an overview and future developments. *Rofo*. 2019;191(6):512-21. doi: 10.1055/a-0800-0113.
51. International Commission on Radiological Protection. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. Ann ICRP. 2000.
52. Pittayapat P, Thevissen P, Fieuws S, Jacobs R, Willems G. Forensic oral imaging quality of hand-held dental X-ray devices: comparison of two image receptors and two devices. *Forensic Sci Int*. 2010;194(1-3):20-7. doi: 10.1016/j.forsciint.2009.09.024.
53. 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;103(2 Suppl 2):S179-85. doi: 10.1097/HP.0b013e318259fa29.
54. Kim EK. Effect of the amount of battery charge on tube voltage in different hand-held dental X-ray systems. *Imaging Sci Dent*. 2012;42(1):1-4. doi: 10.5624/isd.2012.42.1.1.
55. Hoogeveen RC, Meertens BR, Berkhout WER. Precision of aiming with a portable X-ray device (Nomad Pro 2) compared to a wall-mounted device in intraoral radiography. *Dentomaxillofac Radiol*. 2019;48(5):20180221. doi: 10.1259/dmfr.20180221.
56. Gulson A, Holroyd J. Guidance on the safe use of hand-held dental X-ray equipment. 2016 (citado el 25 de octubre de 2021). Disponible en: https://www.phe-protectionservices.org.uk/cms/assets/gfx/content/resource_3588csc2964caac0.pdf
57. Gray JE, Bailey ED, Ludlow JB. Dental staff doses with handheld dental intraoral X-ray units. *Health Phys*. 2012;102(2):137-42. doi: 10.1097/HP.0b013e318230778a.

58. Boice JD, Jr. The linear nonthreshold (LNT) model as used in radiation protection: an NCRP update. *Int J Radiat Biol.* 2017;93(10):1079-92. doi: 10.1080/09553002.2017.1328750.

59. Shore RE, Beck HL, Boice JD, Caffrey EA, Davis S, Grogan HA, et al. Implications of recent epidemiologic studies for the linear nonthreshold model and radiation protection. *J Radiol Prot.* 2018;38(3):1217-33. doi: 10.1088/1361-6498/aad348.