

**Dosis de radiación absorbida por endodoncistas con el uso de nuevas tecnologías de rayos
X y su efecto en la glándula tiroides, actualización 2024**

Liz Vanet Castro Cruz y Gilmar Heredia Ceballos

Trabajo de grado para obtener el título de Endodoncista

Asesora científica

Doctora Marcela Moreno

Endodoncista

Universidad Santo Tomás, extensión Bogotá

División Ciencias de la Salud

Especialización en Endodoncia

2024

Contenido

Introducción	10
1. Dosis de radiación absorbida por endodoncistas con el uso de nuevas tecnologías de rayos X y su efecto en la glándula tiroides, actualización 2024	13
1.1 Problema.....	13
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo general.....	18
1.2.2 Objetivos específicos	19
1.3 Justificación.....	19
2. Marco Referencial	23
2.1 Marco teórico	23
2.1.1 Los rayos X.....	23
2.1.2 Descubrimiento	24
2.1.3 Los sensores de rayos X digitales	25
2.1.4 Sistemas de estado sólido.....	26
2.1.5 Efectos de la radiación ionizante	28
2.1.6 Órganos radiosensibles	30
2.2 Estado del arte	33
3. Método	39
3.1 Tipo de Estudio	39

3.2	Selección y descripción de participantes población.....	39
3.2.1	Muestra y tipo de muestreo.....	39
3.2.2	Criterios de selección.....	40
3.3	Operacionalización de variables.....	41
3.4	Instrumento.....	42
3.5	Procedimiento.....	42
3.5.1	Toma de muestra de sangre.....	43
3.5.2	Cuidados y recomendaciones.....	43
3.5.3	Técnica de recolección.....	44
3.5.4	Equipo.....	44
3.5.5	Transporte.....	45
3.5.6	Dosímetro.....	45
3.5.7	Encuesta.....	46
3.6	Análisis estadístico.....	47
3.7	Implicaciones bioéticas.....	47
4.	Resultados.....	48
5.	Discusión.....	56
6.	Conclusiones.....	60
7.	Recomendaciones.....	61
	Referencias.....	63

Apéndices70

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Patrones hormonales de función tiroidea</i>	32
Tabla 2. <i>Operacionalización de variables</i>	41
Tabla 4. <i>Resultados del dosímetro personal en la segunda medición</i>	49
Tabla 5. <i>Resultados del dosímetro personal en la primera medición</i>	50
Tabla 6. <i>Carga de trabajo</i>	50
Tabla 7. <i>Valores de las hormonas THS, T4L y T3 en los diferentes periodos de seguimiento</i>	52
Tabla 8. <i>Cambio porcentual en pruebas THS, T4L y T3 considerando el uso de protección y cantidad de radiografías (de mayor a menor según protección)</i>	55

Lista de figuras

Figura 1. <i>Valores de referencia del perfil tiroideo</i>	45
Figura 2. <i>Profesionales haciendo uso del dosímetro en la investigación.....</i>	46
Figura 3. <i>Radiografías tomadas por cada profesional durante los tres meses de seguimiento ..</i>	49
Figura 4. <i>Dispersión de puntos de valores de la hormona THS reportados para cada paciente</i>	52
Figura 5. <i>Dispersión de puntos de valores de la hormona T4L reportados para cada paciente</i>	53
Figura 6. <i>Dispersión de puntos de valores de la hormona T3 reportados para cada paciente ..</i>	54
Figura 7. <i>Relación entre la cantidad de radiografías y los cambios porcentuales en la TSH en diciembre.....</i>	55
Figura 8. <i>Relación entre la cantidad de radiografías y los cambios porcentuales en la T4L en diciembre.....</i>	56
Figura 9. <i>Relación entre la cantidad de radiografías y los cambios porcentuales en la T3 en diciembre.....</i>	56

Lista de apéndices

Apéndice A. *Consentimiento informado* 70

Apéndice B *Encuesta - Cuestionario* 71

Resumen

Durante los tratamientos endodónticos es muy frecuente recibir dosis de radiación provenientes de instrumentos como los Rayos X portátiles las cuales pueden llegar hasta órganos radiosensibles como la tiroides, de no contar con los protocolos de protección adecuados. **Objetivo:** determinar la dosis de radiación absorbida y los posibles cambios de la glándula tiroides a través de la evaluación de un perfil funcional de la glándula en los endodoncistas expuestos al uso continuo de equipos de Rayos X portátiles junto con los dispositivos de captura digital de imágenes durante seis meses de exposición. **Método:** estudio observacional descriptivo de serie de casos, continuación de un estudio previo; participaron 20 endodoncistas (10 de la primera etapa; y 10 nuevos para la segunda etapa). Se obtuvo información sobre edad, sexo, tipo de equipo, tiempo de utilización del equipo, número de pacientes/día, número de radiografías/paciente, dosis absorbida y, TSH, T3, T4L iniciales y finales. **Resultados:** el grupo estuvo conformado 70% de mujeres, con un promedio de edad de 36,55 años, 55% utilizaban siempre chaleco plomado. En los 3 meses se tomaron 7848 radiografías, 4 profesionales no tienen control estricto de protección radiológica, estos hacen parte de los profesionales que toman mayor número de radiografías. Un participante presentó dosis de radiación absorbida de interés radiológico (participante 9: 0,15mSv) y cambios por fuera del intervalo de referencia para las hormonas T4L (0,88 ng/dL) y T3 (58,6 ng/dL). **Conclusiones:** si bien el grupo en general presenta valores normales para las hormonas THS, T3, T4L y en la dosis de radiación absorbida, existe un paciente que deja en evidencia cómo el no uso de protección durante la práctica puede llevar a cambios hormonales que pueden afectar la glándula tiroides.

Palabras clave: radiación, equipo portátil, endodoncistas, glándula tiroides, hormonas, dosímetro.

Abstract

During endodontic treatments is common to receive doses of radiation from instruments such as portable X-rays, which can reach radiosensitive organs such as the thyroid if adequate protection protocols are not in place. **Objective:** determine the absorbed radiation dose and possible changes of the thyroid gland by an evaluation of a functional profile of the gland in endodontists exposed to both the continuous use of portable X-ray equipment together and digital images capture devices over six months of exposure. **Method:** descriptive observational case series study, which is a continuation of a previous study. Twenty endodontists participated (10 from the first stage; and 10 new ones for the second stage). Information was obtained on age, gender, type of equipment, time of use of the equipment, number of patients per day, number of X-Rays per patient, absorbed dose, and initial and final TSH, T3, FT4. **Results:** 70% of the group was women; they had an average age of 36.55 years; 55% always wore a lead vest. During the 3 months, 7,848 X-Rays were taken, and 4 professionals who do not have strict protection control are also among those who provide the most X-Rays. Only one participant presented absorbed radiation doses of radiological interest (participant 9: 0.15mSv) and changes outside the reference range for the hormones FT4 (0.88 ng/dL) and T3 (58.6 ng/dL). **Conclusions:** although the group in general presents normal values for the hormones TSH, T3, FT4 and the absorbed radiation dose; there is one patient who shows how the non-use of protection during practice can lead to hormonal changes that could affect the thyroid gland.

Keywords: radiation, portable equipment, endodontists, thyroid gland, hormones, dosimeter.

Introducción

Para los endodoncistas, y en general muchos de los profesionales de la rama odontológica, las radiografías son una herramienta diaria y de primera mano durante sus prácticas clínicas. Dicho elemento es crucial pues ayudan a identificar pormenores de la anatomía radicular, el número de raíces, localización, forma y número de conductos radiculares, fracturas radiculares, entregan información sobre la longitud de trabajo de los conductos radiculares, determinar la posición que deben tener los instrumentos en los procedimientos, entregan información al final sobre la calidad de las obturaciones, permiten hacer un seguimiento a los tratamientos, entre otras (Basrani, 2012).

Utilizadas ampliamente desde su descubrimiento a finales del siglo XIX, las radiografías han tenido importantes mejoras, tal es el caso que hoy se cuenta con sistemas digitales que han tenido muy buena aceptación en el diagnóstico dental pues ofrecen una disponibilidad de toma, observación en cualquier momento y lugar en el que se cuente con un computador (rayos X portátiles), además por sus posibilidades de archivo y recuperación de imágenes (Lehmann, 2002, Stelt, 2005), permitiendo que además, la radiografía digital se adhiera al principio ALARA (del inglés "*As Low As Reasonably Practicable*") (Berkhout, 2015).

No obstante, el uso continuo de esta valiosa herramienta diagnóstica también puede acarrear problemas para la salud del profesional (y claro, del paciente) si no se le da un manejo adecuado bajo estrictos controles de protección; los efectos que produce a los organismos vivos la exposición a la radiación (que es ionizante en este caso) varían con la intensidad, el tipo de radiación y el tiempo de exposición a la fuente de emisión (Council, 2016; White, 2012), y existen órganos radiosensibles como la tiroides a los que se les debe prestar especial cuidado durante la vida profesional, pues tras diferentes investigaciones se ha encontrado la aparición de tumores de

tiroides e hipotiroidismo, aunque estos resultados todavía se consideran controversiales (Memon, 2010; Alawneh y Cols., 2018).

Lo que se debe tener en cuenta, y el punto de partida de esta investigación, es que durante los tratamientos endodónticos suelen requerirse cinco radiografías periapicales: la radiografía inicial (diagnóstico), la conductimetría (para determinar la longitud radicular del diente), la conometría (para comprobar el selle del ápice radicular con el cono principal), para el control de obturación y la radiografía final; incluso puede ser necesaria una sexta radiografía para el control tardío; esta cantidad de radiografías adicional a la cantidad de pacientes que pueden atenderse diariamente se convierten en un factor de riesgo para los profesionales endodoncistas (Canalda, 2014).

Conociendo estas situaciones fue desarrollada esta investigación observacional, descriptiva de serie de casos, que es la continuación de un estudio realizado y culminado anteriormente, para hacer seguimiento a un grupo de endodoncistas considerando los efectos en un periodo de exposición más largo; en este caso se incluyeron 10 profesionales más a los 10 del estudio anterior que contaban con equipos de rayos X portátil, y se hicieron análisis de cantidad de tiempo utilizando el equipo, cantidad de pacientes atendidos diariamente, cantidad de radiografías por paciente, valores de hormonas THS, T3 y T4L inicial y final, y dosis de exposición a la radiación. El nuevo seguimiento se realizó durante el cuarto trimestre del año 2023 a los 20 profesionales, y aunque en líneas generales los endodoncistas incluidos en este estudio tuvieron los resultados del análisis de las hormonas THS, T3 y T4L dentro del intervalo biológico de referencia y lecturas de los dosímetros “no detectables”, sin relación con el número de radiografías tomadas durante el periodo de seguimiento, sí hubo una profesional (participante 9) cuyos valores presentaron niveles importantes de riesgo para la salud, lo que pudo estar asociado con el hecho de no estar siguiendo

un protocolo de protección adecuado; es este caso, reportado también durante el seguimiento anterior el deja ver la importancia de contar con un protocolo de protección a Rayos X bien definido, el cual se presenta también al final.

1. Dosis de radiación absorbida por endodoncistas con el uso de nuevas tecnologías de rayos X y su efecto en la glándula tiroides, actualización 2024

1.1 Problema

Entre las muchas herramientas que el endodoncista utiliza durante la práctica diaria, las radiografías ocupan un lugar importante por ser indispensables pues un número importante de las lesiones osteolíticas en los maxilares son el resultado de cambios patológicos que tienen lugar en el tejido perirradicular como resultado de infecciones pulpares y necrosis. La importancia de las radiografías para el endodoncista radica en que con ellas se definen características como la anatomía radicular, el número de raíces, localización, forma y número de conductos radiculares, las fracturas radiculares a causa de traumas, entre otros. Desde el aspecto técnico, permiten obtener una aproximación de la longitud de trabajo de los conductos radiculares, determinar la posición que deben tener los instrumentos durante el procedimiento y, de los conos maestros cuando se está en etapa de obturación; y en una etapa final, son las que permiten evaluar la calidad de la obturación endodóntica, pues es a través del aspecto radiográfico que se puede determinar si los objetivos fueron alcanzados; además permiten evaluar el resultado del tratamiento durante las visitas de control posteriores a la intervención; entonces, un tratamiento endodóntico no puede ser desligado del uso de imágenes radiográficas (Basrani, 2012).

Después del descubrimiento de los rayos X, los avances en este campo han sido constantes; entre los primeros está el uso de sensores de rayos X digitales, que se introdujeron en el campo odontológico a mediados de la década de 1980 por Francis Mouyen. Dichos sistemas han evolucionado notoriamente desde esta época, y actualmente son una tecnología útil y con gran aceptabilidad para realizar un diagnóstico dental.

Entre las ventajas que han potenciado su uso está la reducción de dosis; no obstante, permanecen los cuestionamientos al ser comparados con las imágenes intraorales y extraorales de tipo análogo, pues se cuenta con los sistemas de placas de fósforo que tienen amplios rangos de exposición (Berkhout, et al., 2015), esto implica que una imagen sobreexpuesta puede poseer características adecuadas incluso en los casos en los que el paciente ha recibido una dosis más alta de la necesaria. Los sensores CCD (*charge-coupled device* o dispositivos de carga acoplada en español) por otro lado, tienen un rango de exposición pequeño. Las imágenes sobreexpuestas dejan ver áreas negras totalmente saturadas, indicando de manera clara al clínico que es necesaria la reducción del tiempo de exposición. Hay que considerar que la reducción de dosis para radiografía digital es dependiente de un factor fundamental y esta solo es posible en el momento cuando el odontólogo selecciona la exposición más baja con la cual consigue una imagen óptima (Berkhout, et al., 2015).

En sus inicios, poco o nada se conocía sobre los riesgos de la exposición a la radiación, por eso era común que se utilizaran profesionalmente dosis altas de radiación hasta varios años después de que ocurrieron los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki en 1945 (Miller, 1995); dicho comportamiento es el por qué son limitados los estudios que investigaron los efectos de la radiación ionizante entre los radiólogos y profesionales de la salud en estos primeros años; sin embargo, sí se conoce que los radiólogos británicos que trabajaron más de 40 años, durante la primera mitad del siglo XX, tuvieron una tasa de mortalidad por cáncer 40% más alta que otros profesionales médicos (Parikh., 2016). Es precisamente por datos como éstos que se da la hipótesis del efecto de la exposición a la radiación ionizante.

Hoy la literatura es contundente al reportar que existe un aumento del riesgo carcinogénico cuando la dosis de exposición a la radiación aguda está entre los 10 a 50 mSv (miliSievert), y para

la exposición a la radiación a largo plazo el riesgo carcinogénico ocurre con una dosis acumulada >100 mSv (Miller, 1995, p. 3). En 2007, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (*International Commission on Radiological Protection - ICRP*), presenta entre sus recomendaciones el límite máximo permitido para personal profesionalmente expuesto, el cual debe ser inferior a los 100 mSv en cinco años oficiales trabajados; con máximo 50 mSv en cualquiera de los años de exposición, pero sin exceder la dosis anual de 20 mSv, todo esto para evitar los efectos determinísticos conocidos y los efectos estocásticos que todavía poseen un alto nivel de incertidumbre.

En la actualidad son dos los tipos de equipos radiográficos con los cuales se puede llevar a cabo la toma de radiografías para suplir las necesidades de tipo odontológico: los equipos de rayos X portátiles y los equipos fijos (convencionales); para los primeros de éstos, se requiere de una intrincada infraestructura para un equipo que con dificultad puede trasladarse para brindar comodidad al paciente o al odontólogo. Es precisamente este motivo el que ha llevado a que muchos endodoncistas hayan optado por cambiarse al uso de equipos de rayos X portátiles (Berkhout, et al., 2015), aunque también se cuentan: 1) la inmediatez, toda vez que estos equipos permiten tener las imágenes para el diagnóstico justo después de realizar el procedimiento con los rayos X, y mostrarlos a través de la pantalla del dispositivo y así emitir el respectivo dictamen; 2) la comodidad, pues por su peso es fácil trasladarlo a cualquier consultorio; 3) una mejor calidad de imagen, pues éstas en los rayos X digitales, proveen mayor claridad y nitidez si se les compara con los equipos convencionales; además, en las pantallas de los sistemas portátiles, los profesionales tienen la oportunidad de resaltar y agrandar partes de la imagen para conseguir una mejor visualización y; 4) la eliminación del uso de materiales contaminantes entre los que se

encuentran las películas radiográficas y los químicos que son utilizados para el revelado y la fijación de las radiografías (Zapata, 2021).

Esta variedad de ventajas y beneficios son la razón por la cual un número importante de endodoncistas han optado por usar en su práctica diaria los equipos de rayos X portátiles, el problema es que falta mayor investigación sobre el riesgo a la salud que puede estar ocasionando el uso continuo y la falta de control de dichos equipos.

Cuando se aborda este tema, hay una gran preocupación por los aspectos deletéreos de los rayos X sobre la materia; en este punto es primordial ahondar en la función endocrinológica de la glándula tiroides, pues este órgano es uno de los más radiosensibles (Bahreyni et al., 2012; Rasha y Yosra, 2022). Las radiaciones ionizantes que provienen de los equipos de rayos X son de interés por las patologías que pueden llegar a desarrollar a nivel de esta glándula. La función de la glándula tiroides, según ha reportado la Organización Mundial de la Salud-OMS desde el año 2016, es producir, almacenar y liberar en la sangre las hormonas tiroideas T3 (triyodotironina), T4 (tiroxina) y calcitonina. Para ello necesita del Yodo obtenido mediante la dieta. Estas hormonas son vitales pues median en el desarrollo del sistema nervioso, ayudan a regular el metabolismo y son necesarias para el control de las funciones de todos los órganos del cuerpo, tales como el control de la frecuencia cardiaca, la concentración del colesterol, el uso de la glucosa, el mantenimiento de la temperatura corporal, la fuerza muscular, y muchos más (Berkhout, et al., 2015).

Por otra parte, hay enfermedad de la glándula tiroides cuando ésta no funciona de manera adecuada, ya sea a causa de exceso de secreción de la hormona T4 (hipertiroidismo) o porque hay déficit en su secreción (hipotiroidismo). También se puede dar el caso de desarrollo de nódulos en esta glándula, los cuales podrían ser tumores benignos o malignos en el tejido glandular. El cáncer

de tiroides se considera la enfermedad de origen endocrino más común, cuya incidencia ha tenido un incremento continuo y constante en las últimas tres décadas, alcanzando cerca de tres veces en los Estados Unidos y de manera similar en muchos países alrededor del mundo (Berkhout, Beuger, Sanderink, & Van Der Stelt, 2004).

En el año 2018 en Asia, se realizó un estudio donde fueron examinados diferentes profesionales de la salud, develando el riesgo de desarrollar cáncer de tiroides a causa de la exposición ocupacional a la radiación para los trabajadores que se encuentran expuestos, y entre los cuales se encuentran los odontólogos. En esta investigación se encontró que la dosis acumulativa anual para los hombres era de 3.01 mSv, mientras que en las mujeres era de 2.80 mSv, hallazgos que sirvieron de evidencia para hablar de la magnitud del riesgo potencial de cáncer, si se tienen en cuenta los actuales niveles de exposición a la radiación a causa de factores ocupacionales (Lee, 2018). También se cuenta con datos reportados en Europa que son de interés pues analizan pacientes sometidos a radioterapia; en estos casos se ha observado que la radiación ionizante produce cambios en el parénquima tiroideo, presentándose como una fibrosis que afecta la vascularización y a la propia glándula. Los cambios celulares suponen alteraciones que afectan el normal funcionamiento de la glándula manifestándose en la clínica con un hipotiroidismo (Alba, 2011).

Finalmente, cuando se busca información a nivel de Sudamérica incluida Colombia, hay una escasez de datos confiables y completos de registros de cáncer o alteraciones de la glándula tiroides asociados al uso continuo de los equipos de rayos X portátiles (Berkhout, Beuger, Sanderink, & Van Der Stelt, 2004); específicamente para el territorio nacional se encontró un estudio realizado por Segura y Téllez (2009) y otro realizado por Tirado y Cols. (2015).

Aun así, persiste la falta de estudios e información en la que se aborde la utilización adecuada de equipos de rayos X portátiles, el daño que pueden ocasionar a corto o largo plazo, los efectos que pueden generar a nivel de funcionamiento de la glándula tiroides en profesionales como los endodoncistas, los protocolos de autocuidado al momento del uso, por lo que se considera conveniente la realización de un estudio donde se evalúe y actualicen los datos sobre la posible relación entre la exposición ocupacional a la radiación ionizante y los posibles cambios que se generan en la glándula tiroides reflejados en el perfil funcional de los odontólogos endodoncistas, que utilizan equipos de rayos X portátiles y tecnologías digitales de obtención de imagen como lo es el radiovisiógrafo; todo esto para ofrecer parámetros de uso seguro a los profesionales y a la vez difundir entre la comunidad odontológica la posibilidad del riesgo ocupacional que generan estos equipos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la dosis de radiación absorbida y su posible efecto en los cambios de la glándula tiroides, evaluados a través de un perfil funcional tiroideo, en endodoncistas que utilizan las nuevas tecnologías en la radiología dental, haciendo una actualización de datos tras seis meses de exposición?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la dosis de radiación absorbida y los posibles cambios de la glándula tiroides a través de la actualización en la evaluación de un perfil funcional de la glándula en los

endodoncistas expuestos al uso continuo de equipos de Rayos X portátiles junto con los dispositivos de captura digital de imágenes durante seis meses de exposición.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Establecer las características funcionales de la glándula tiroides en la primera medición por medio del perfil tiroideo (THS, T3 y T4L).
- Identificar los cambios a nivel funcional que puedan surgir en la glándula tiroides posterior al tiempo de exposición, en dos grupos de profesionales (G1: 3 mediciones; G2: 2 mediciones, realizadas tras 3 meses).
- Observar la frecuencia de exposición del endodoncista a las nuevas tecnologías en radiología en su práctica diaria.
- Desarrollar y socializar un protocolo de protección a rayos X que sirva para los profesionales que utilicen los dispositivos portátiles y para la comunidad odontológica en general.

1.3 Justificación

En odontología, los rayos X dentales a los cuales los endodoncistas están expuestos, provienen generalmente de dispositivos fijos montados en la pared. Con estos equipos el operador se puede ubicar a una distancia considerablemente segura del paciente, o detrás de una pared o estructura que proporciona protección durante el momento que hay exposición a los rayos X. Buscando brindar mayores posibilidades a los profesionales, desde hace varios años, se han desarrollado equipos portátiles de rayos X dentales junto con dispositivos digitales de captura de

imágenes, que requieren que el operador sostenga con sus manos el equipo mientras realiza la toma de imágenes al paciente (Berkhout, 2015).

Este proceso genera preocupaciones con relación a la seguridad del operador, principalmente porque puede estar expuesto a varias tomas al día. Evidente, en algunas situaciones, su uso aporta beneficios potenciales en comparación con los dispositivos de rayos X dentales convencionales, está por ejemplo la disminución del tiempo de exposición aunque obteniendo imágenes con mayor nitidez; se ha afirmado que hay una disminución del 50% de la dosis de rayos X empleada en los dispositivos digitales vs. los convencionales, lo que se consigue al eliminar el proceso químico del revelado de la película a la vez que optimiza el tiempo en la consulta (Barbieri, 2006).

Los rayos X portátiles se componen de una serie de tubos de rayos X con el interruptor de irradiación ubicado de manera directa en el cuerpo del dispositivo. Visualmente, son muy parecidos a una gran cámara de mano, aunque puede incluir un escudo protector en el extremo del cono dental que se destina para la reducción de la radiación de retrodispersión hacia el operador. El escudo de retrodispersión puede quitarse o dejarse fijo de manera permanente. Para usar el dispositivo es necesario que el operador se coloque al lado del paciente durante la exposición a los rayos X, el problema es que dicha proximidad lleva a preocupaciones sobre posibles incrementos de la dosis de radiación que absorbe el operador si se le compara con los dispositivos de rayos X dentales convencionales que no necesitan que el profesional esté presente durante el momento de generación de la radiación. (Stelt, 2005)

Hay que tener presente, que durante un tratamiento endodóntico por lo general son indispensables cinco radiografías periapicales: la radiografía inicial (diagnóstico), la conductometría (para determinar la longitud radicular del diente), la conometría (para comprobar

el selle del ápice radicular con el cono principal), para el control de obturación y la radiografía final. Hay posibilidad de utilizar una sexta radiografía para el control tardío, lo cual depende de la patología que se esté tratando, como en los casos de lesiones periapicales para comprobar la existencia de una evolución favorable. Suele realizarse entre los seis y doce meses para los casos de pulpitis y entre uno y tres años para una periodontitis (Canalda, 2014).

Se han analizado las dosis de radiación de diferentes equipos de rayos X portátiles y los han comparado con los de rayos X convencionales; de éstos se han medido los valores de kerma en el aire de la radiación, que es la unidad de medida de la transferencia de energía cinemática a través de los fotones de los rayos X a los electrones en una masa, concluyendo que las exposiciones anuales estimadas del operador que utiliza dispositivos de rayos X portátiles son más elevadas que las estimadas para los que usan dispositivos convencionales o portátiles pero activados desde un área protegida (Andisco, 2014); así, lo que se sugiere es que sean usados cuando la accesibilidad del paciente esté limitada y el dispositivo montado en la pared no sea factible. Estas consideraciones mantendrían las exposiciones ocupacionales a la radiación de los profesionales de la odontología tan bajas como sea razonablemente posible (Smith, 2019).

Conocer los riesgos a los que el endodoncista se está enfrentando al utilizar estas nuevas tecnologías es ahora más importante que nunca; primero porque hay un número creciente de profesionales de esta importante rama que están utilizando rayos X portátiles, placa de fosforo y/o radiovisiógrafo y, segundo, porque hay una evidente falta de conocimiento sobre las posibles afectaciones en salud con su uso constante. Según la Asociación Americana de la Tiroides (*American Thyroid Association - ATA*), la glándula tiroides es el órgano susceptible a las radiaciones ionizantes, principalmente porque este órgano absorbe o capta el yodo disponible del

torrente sanguíneo; el problema es que no es capaz de distinguir entre el yodo estable o regular del yodo radioactivo y, absorbe todo lo que le sea posible (Stelt, 2005).

La presente investigación surge de la necesidad de estudiar si las nuevas tecnologías de imagenología dental generan algún cambio en el funcionamiento de la glándula tiroides, órgano diana por tener la capacidad de reaccionar a un estímulo como lo son las radiaciones ionizantes, con el propósito de identificar si el tiempo de uso, la dosis absorbida y el número de exposiciones diarias llegan a afectar la salud del endodoncista. La idea de esta investigación es realizar estudios dosimétricos de cada profesional y pruebas funcionales de la glándula como lo son los perfiles de TSH, T4 y T3, para establecer si evidentemente hay cambios en el funcionamiento de la glándula, de tal manera que se pueda establecer un protocolo de prevención y autocuidado frente al uso seguro de este tipo de dispositivos.

La idea es lograr el mayor conocimiento posible sobre un órgano indispensable para el funcionamiento del organismo como lo es la glándula tiroides, y la cual a diario puede verse afectada por las múltiples radiaciones a las que está expuesta en los profesionales de la salud donde resaltan los endodoncistas. Metodológicamente, este estudio es la continuación de uno desarrollado y culminado anteriormente, y que puede ser utilizado como línea base para futuras investigaciones, permitiendo la realización de análisis, comparaciones entre profesionales de la salud de diferentes especialidades, poblaciones y periodos temporales, con o sin población control. Adicionalmente, es interesante generar con base a los resultados obtenidos de la investigación, un protocolo de prevención y autocuidado adaptado a los endodoncistas por hacer uso diario de las radiografías en su oficio.

2. Marco Referencial

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Los rayos X*

Los rayos X son una forma de radiación electromagnética ionizante, indetectables para el ojo humano, que tienen una mayor energía y pueden pasar a través de la mayoría de los objetos opacos (incluyendo el cuerpo), y de imprimir las películas fotográficas. Su capacidad de penetrar la materia es directamente proporcional al voltaje, es decir que funciona mejor con más voltaje; además; también cuanto más baja es la densidad de la materia y cuanto menor es el número atómico medio de la materia que se desea atravesar. El aspecto que más se destaca de los actuales sistemas digitales, es que las imágenes pueden observarse en la pantalla de un computador sin que haya necesidad de impresión (Drenth, 1999).

Entre las radiaciones electromagnéticas ionizantes que interactúan con la materia se encuentran los rayos X, rayos gamma y las radiaciones ultravioletas UV-C. Los rayos X se dan a partir de fenómenos extranucleares, a nivel de la órbita electrónica, esencialmente por la desaceleración de electrones. La energía de los rayos X está generalmente entre la radiación ultravioleta y los rayos gamma producidos naturalmente; dicho comportamiento hace que los rayos X sean una radiación ionizante pues al interactuar con la materia se produce la ionización de los átomos de la misma, es decir, que se generan partículas con carga (iones) (Drenth, 1999).

2.1.2 Descubrimiento

En el siglo XIX fue el británico William Crookes quien comenzó los experimentos con rayos X, al investigar los efectos de ciertos gases tras aplicarles descargas de energía. Los experimentos requerían de un tubo vacío con electrodos en su interior, para formar corrientes de alto voltaje, tubo al que el científico nombró el tubo de Crookes. Cuando dicho tubo se posicionaba cerca de placas fotográficas, generaba en éstas algunas imágenes difusas. Sin embargo, fue el ingeniero Nikola Tesla, hacia 1887 que, tras estudiar el efecto creado por medio de los tubos de Crookes, advierte a la comunidad científica del peligro para los organismos biológicos que supone la exposición a estas radiaciones (Vergero, 2008).

Para 1895 fue el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen quien descubrió los “rayos incógnita” o “rayos X” porque no sabía que eran, mientras experimentaba con los tubos de Hittorff-Crookes y la bobina de Ruhmkorff para investigar la fluorescencia violeta que se producía con los rayos catódicos. Su idea consistió en tapar el tubo con un cartón negro para eliminar la luz visible, pero durante la prueba pudo notar un débil resplandor amarillo-verdoso que provenía de una pantalla con una capa de platino-cianuro de bario, que luego desaparecía cuando se apagaba el tubo. Dicho comportamiento llevó a que el físico concluyera que los rayos estaban creando una radiación muy penetrante, pero invisible, que atravesaba grandes espesores de papel e incluso metales poco densos. Para demostrar la relativa transparencia de los objetos a los rayos X utilizó placas fotográficas con las que obtuvo la primera radiografía humana, de la mano de su mujer. A pesar de los descubrimientos que les precedieron sobre la naturaleza del fenómeno, el nombre fue conservado (Vergero, 2008).

Solo bastaron 14 días desde la primera radiografía, para que el dentista alemán Otto Walkhoff tomara la primera radiografía dental. Su proceso consistió en colocar una placa

fotográfica de vidrio envuelta en papel negro y hule dentro de su boca, con una exposición a rayos X por 25 minutos. Ese mismo año, en 1896, William J. Morton, un médico de Nueva York, obtuvo la primera radiografía en los Estados Unidos usando un cráneo, además también generó la primera radiografía del cuerpo entero. La primera radiografía intraoral de un paciente fue obtenida por Edmund Kells en 1896, y luego de tres años usó los rayos X para determinar la longitud del diente durante una terapia de conductos radiculares (Cullity, 1956).

2.1.3 Los sensores de rayos X digitales

Los primeros sensores de rayos X digitales para uso en odontología se introdujeron a mediados de la década de 1980 por Francis Mouyen (RVG, Trophy Radiologie, Croissy Beaubourg, Francia hoy conocida como Trophy, A Kodak Company, Rochester, NY); aunque este primer sistema dental digital solo era capaz de producir una imagen radiográfica impresa lo que indica que no podía almacenarse en un disco. Este fue el comienzo de una nueva era y en sólo una década ya se contaba con un número amplio de fabricantes en el mercado digital. (Lehmann, 2002).

Desde sus orígenes, los sistemas digitales han tenido cambios notables que han servido para que sean considerados una tecnología útil y bien aceptada en el diagnóstico dental, especialmente porque se ha trabajado en lograr una reducción en las dosis requeridas. Sin embargo, es la disponibilidad de observación en cualquier momento y lugar la que hace que la radiografía digital se adhiera al principio ALARA, (acrónimo del inglés "*As Low As Reasonably Practicable*"); incluso se cuenta con otras ventajas como la interpretación y mejora de imágenes asistidas por computadora, además de las opciones obvias de archivo y recuperación de imágenes estandarizadas (Berkhout, 2015).

Las imágenes radiográficas digitales pueden producirse de distintas formas, algunas bastante sencillas; están los escáneres planos con un adaptador de transparencias, los escáneres de diapositivas y las cámaras digitales que se pueden usar para convertir una radiografía analógica en una imagen digital; enfoques que no necesitan de una gran inversión pues las imágenes producidas a través de esta técnica son llamadas "radiografías digitales indirectas". De todas formas, también existen tecnologías más avanzadas que crean imágenes digitales sin un precursor analógico, son las que producen imágenes digitales "directas" e imágenes digitales "semidirectas". Las primeras se adquieren utilizando un sensor de estado sólido cuyos principales componentes son dispositivos CCD (*Charge-Coupled Device* o dispositivo de carga acoplada) o chips basados en semiconductores de óxido metálico complementario (CMOS). En el caso de las imágenes semidirectas, éstas son obtenidas al usar un sistema de placas de fósforo (Stelt, 2005).

2.1.4 Sistemas de estado sólido

2.1.4.1 La tecnología CCD. La mayoría de los sensores de estado sólido en radiografía dental digital están basados en la tecnología CCD, la cual consiste en un diseño del chip electrónico que se utiliza para capturar la imagen radiográfica. Este chip convierte en una señal electrónica la energía de los fotones de rayos X que golpean el sensor y para aumentar la eficiencia de esta conversión, se coloca una capa de centelleo encima del CCD. Después, la capa de centelleo convierte los fotones de rayos X en fotones de luz visible, que luego son absorbidos por el chip CCD por medio de lentes o de un dispositivo cónico de fibra óptica y, posteriormente, convertidos en la señal electrónica. Dicha señal es enviada al ordenador utilizando tecnología CMOS (Stelt V. D., 2005). Es de resaltar que la arquitectura que tiene el CMOS fue una ventaja sobre el CCD

durante algún tiempo. Sin embargo, la mayoría de las cámaras digitales del mercado se basan en tecnología CCD, a causa de la calidad y los menores costos de producción de los chips CCD. A pesar de todo esto, hoy “los niveles de calidad de imagen de los sistemas de sensores basados en CCD y CMOS son comparables” (Stelt, 2005, p 1380).

2.1.4.2 Las imágenes semidirectas - Sistemas de almacenamiento de placas de fósforo.

Aquí se ubican los sistemas que utilizan fósforo fotoestimulable (PSP), el cual a veces también es denominado "placa de fósforo de almacenamiento", emplean una placa cubierta con cristales de fósforo. Esta capa de fósforo tiene la capacidad para almacenar la energía de los fotones de rayos X durante algún tiempo y requieren un escáner para "leer" la información de la imagen de la placa, lo que se hace escaneando la placa con un rayo láser de longitudes de onda cercanas al rojo. La energía que es liberada de la capa de fósforo, se detecta mediante un intensificador de imágenes y luego se convierte en información digital. Lo importante es no exponerlas a la brillante o al calor porque esto liberará la energía antes de que el escáner la lea. Tras escanear las placas, se exponen a una luz brillante que borra toda la energía restante para luego poderlas utilizar nuevamente (Stelt, 2005).

Si bien existen claros beneficios para la salud obtenidos tras estas exposiciones, no se debe olvidar que aún persisten problemas sin resolver, entre los que se incluyen los costos sociales para realizar estas exposiciones, la optimización de la utilidad de estos exámenes en términos de sobreutilización potencial y los riesgos desconocidos asociados con la exposición a la radiación ionizante.

2.1.5 Efectos de la radiación ionizante

Los efectos de la radiación son clasificados como deterministas o estocásticos. Los deterministas resultan de matar células, un ejemplo claro es la mucositis oral asociada con la radioterapia en la cavidad oral. Estos efectos normalmente requieren una dosis alta y existe un nivel de dosis umbral por debajo del cual no se observan cambios clínicos. Es por esto que las imágenes dentales convencionales nunca causan efectos deterministas. Por otro lado, los efectos estocásticos resultan de dañar el ADN, aquí se encuentran el cáncer, la leucemia y, en mucha menor medida, el daño genético (hereditario). Estos efectos pueden resultar de exposiciones muy bajas y no hay evidencia de una dosis umbral. Se ha afirmado que las exposiciones dentales tienen efectos estocásticos, porque conllevan el riesgo de causar cáncer y leucemia (Council., 2006).

Sin embargo, los efectos que produce la exposición a la radiación ionizante en organismos vivos también varían con la intensidad, el tipo de radiación y el tiempo de exposición a la fuente de emisión. La cantidad de radiación que recibe un organismo se conoce en el campo de la protección radiológica como dosis absorbida, la cual se define como la cantidad de energía que la radiación ionizante deposita en el volumen de una cierta cantidad de materia. Para cuantificar la dosis se utiliza la unidad llamada gray (Gy), lo que equivale a un Joule por kilogramo (Bushong, 2011), como se expresa en la siguiente ecuación.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/Kg} = 100 \text{ Rads}$$

Hay una gran cantidad de literatura que relaciona la radiación con la formación de cáncer (tanto tumores sólidos como leucemias), tanto en humanos como en animales de investigación (Council., 2006) (Radiation., 2000). El análisis de esta literatura ha llevado al desarrollo de la hipótesis lineal sin umbral (LNT); en esta hipótesis se sostiene la existencia de una relación lineal

entre la dosis y el riesgo de inducir un nuevo cáncer. Además, en esta hipótesis no existe un umbral o una "dosis segura" por debajo de la cual no haya un riesgo añadido.

La LNT es una hipótesis que ha sido ampliamente aceptada para establecer políticas en seguridad y protección radiológica. Aunque no se ha demostrado significativamente, existen investigaciones que demuestran un mayor riesgo de tumores en personas expuestas a más de 100 mGy. (Brenner, 2009) (Kellerer, 2000). Sin embargo, hay relativamente pocas evidencias que muestren un riesgo a dosis más bajas, es decir, en el rango de diagnóstico. En este rango de dosis bajas, la LNT no ha sido verificada de manera consistente. Una de las mayores dificultades en tales estudios es que a dosis inferiores a 100 mGy, los estudios requieren tamaños de muestra tan grandes que resultan poco prácticos. Por lo tanto, la validez del modelo es incierta y no se espera que esta situación cambie en un futuro cercano. (White, 2012)

A pesar de sus incertidumbres en el rango de dosis bajas, existen varias razones para usar el LNT para estimar el riesgo de las exposiciones diagnósticas. La primera, es que se necesita la existencia de una política para establecer los límites de exposición para las personas expuestas en el rango de dosis bajas, como los radiólogos de diagnóstico, los trabajadores de las plantas de energía nuclear, las personas en vuelos largos de líneas aéreas, entre otras. La segunda, es porque hay varias evidencias que respaldan la LNT, como el hecho que la relación dosis-respuesta a dosis superiores a 100 mGy tiene un comportamiento de tipo lineal. Además, el daño complejo al ADN, que la base de la formación del cáncer puede darse incluso con un fotón de rayos X (White, 2012).

La mayoría de las organizaciones de protección radiológica consideran prudente suponer que el riesgo es proporcional a la dosis, incluso para exposiciones diagnósticas, y que no existe un umbral seguro. Si bien la LNT es la opinión consensuada de la mayoría de los grupos de seguridad radiológica de todo el mundo, existe controversia sobre si realmente existe un riesgo. Algunos

argumentan que no existe un riesgo demostrado por debajo de 100 mGy y, en general, es posible que los pacientes no obtengan todos los beneficios del diagnóstico si evitan el diagnóstico por imágenes debido a un miedo inapropiado. De hecho, si el riesgo real es menor que el predicho por el LNT, entonces existe el riesgo de que los pacientes sufran daños por hacer muy pocas exposiciones. Alternativamente, si el riesgo real es mayor que el estimado por el LNT, entonces los pacientes sufren más daño de lo que se estima actualmente (Jeggo, 2009).

2.1.6 Órganos radiosensibles

La radiación puede generar alteraciones en órganos radiosensibles por exposiciones repetitivas, entre estos órganos se encuentran la glándula tiroides y las glándulas salivales, la médula ósea y el cerebro. Las exposiciones a radiación ionizante por procedimientos dentales se han relacionado de manera puntual con meningiomas, leucemia, tumores de glándulas salivales, tumores de tiroides e hipotiroidismo (Memon A, 2010); siendo este último un tema de estudio constante y controversial, ya que su aparición es un efecto determinista.

A través de estudios prospectivos se ha afirmado que es necesaria una dosis mayor a los 50 Gy para generar un cambio en la tiroides ya que rara vez se presenta en pacientes expuestos a menos de 10 Gy, pero si estos están expuestos repetitivamente a pequeñas dosis los niveles de TSH, aumentarán después de los seis meses y muy posiblemente se instaurará el hipotiroidismo en los cinco primeros años. Se plantea que la patogénesis del hipotiroidismo inducido por radiación, tiene que ver con la posible implicación de daño celular vascular y parenquimatoso, así como fenómenos relacionados con la respuesta autoinmune (Luna y Cols., 2019).

La glándula tiroides es un órgano esencial en la homeostasis del organismo, pero por su ubicación se ve repetidamente expuesto a la radiación, razón por la cual se sospecha que la

frecuencia y la cantidad de radiación absorbida afecta su producción de hormonas, generando alteraciones en su funcionamiento y facilitando la instauración de patologías como lo es el hipotiroidismo (Miller, 1995).

Esta glándula se caracteriza por la síntesis, regulación y metabolismo de las hormonas tiroideas en su célula folicular gracias al aporte de yodo y una proteína llamada tiroglobulina. Las hormonas generadas T3 y T4 son liberadas al torrente sanguíneo y transportadas por las proteínas de albumina, globulina de unión a la tiroxina y la transtiretina (Alawneh y Cols, 2018).

Estas proteínas séricas aumentan las reservas de la hormona circundante, también aseguran que se encuentre libre y que su aporte sea permanente en las células diana donde son requeridas para regular su distribución en ciertas regiones y retrasan su eliminación, estas proteínas se producen en el hígado. Además, estas hormonas penetran en las células por medio de la membrana plasmática, migran hacia el núcleo y se unen a un receptor alfa o beta que predominantemente se unen a la T3, se ubican en diferentes zonas como en el cerebro, corazón, hígado, músculos, tejido adiposo, entre otros. Gracias a estos receptores las hormonas pueden ejercer su función en casi todo el organismo ya que ellos se expresan en casi todos los tejidos. Entre las funciones que ejercen la T3 y T4 cabe mencionar como aumentan el metabolismo basal, la pérdida de peso, la termogénesis, regulan el consumo de oxígeno celular, activan las enzimas lipogénicas como la málica, aumentan la captación de glucosa, además son necesarias para la síntesis de vitamina A y para el desarrollo del cerebro en el feto y el crecimiento normal de los huesos porque estimulan la lipogénesis y la lipólisis (Alawneh y Cols., 2018).

Las hormonas T3 y T4 se encuentran reguladas por la TSH tirotropina secretada por el hipotálamo y valorada por medio de una prueba llamada de la misma manera, la cual indica la función tiroidea. Sus límites se sitúan entre 0,4 – 4,2 mU/L y por medio de un análisis dializado o

ultrafiltrado de suero se evalúa la concentración de la T4L y T3 (Santiago, 2020). Al evaluar la función tiroidea hay que tener en cuenta que no es útil estudiarla en pacientes con patología hipotálamo – hipofisaria, pacientes hospitalizados o que ingieren fármacos que alteran la secreción de TSH (metoclopramida, glucocorticoides, somatostatina). Los resultados de esta prueba permiten definir el tipo de patología que padece el paciente y están ilustrados en la siguiente tabla.

Tabla 1. *Patrones hormonales de función tiroidea*

TSH sérica	T4L sérica	T3L sérica	Valoración
Función hipotálamo-hipofisaria normal			
Normal	Normal	Normal	Eutiroidismo
Baja	Alta o normal	Alta	Hipertiroidismo primario
Baja	Normal	Normal	Hipertiroidismo subclínico
Alta	Normal	Normal	Hipertiroidismo subclínico
Alta	Baja	Baja o normal	Hipertiroidismo primario
Alta	Alta	Alta	Resistencia a hormonas tiroideas
Función hipotálamo-hipofisaria alterada			
Normal o Alta	Alta	Alta	Hipertiroidismo secundario (TSH dependiente)
Baja o Normal	Baja	Baja	Hipotiroidismo central

Nota: tomado de Santiago (2020)

Por la cantidad de exposición, los profesionales están clasificados por categorías:

- Categoría A: profesionales que por su labor desempeñada pueden recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año.
- Categoría B: profesionales que por su labor desempeñada no reciben dosis superiores a 6 mSv por año.

En Colombia, según el Artículo 18 de la Ley 31 de 1995, los profesionales en salud actualmente se clasifican como trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, ya que por la función que desempeñan están sometidos diariamente a radiaciones por el uso masivo de equipos

radiológicos, según el servicio en el que se encuentren ofertando como odontólogos están clasificados en la categoría B.

2.2 Estado del arte

Con años de investigación hoy se sabe que existe un riesgo de complicaciones de salud entre los profesionales que se ven expuestos ocupacionalmente a dosis bajas y crónicas de radiación; lo importante es identificar los principales factores que potencian o minimizan el riesgo de sufrir hormonas tiroideas asintomáticas y/o anomalías de las glándulas.

Es así el caso de la investigación desarrollada por Alawneh y Cols. (2018) que al evaluar tecnólogos de radiología de un hospital (39 hombres y 11 mujeres) y compararlos con otros profesionales de la misma institución (34 hombres y 16 mujeres), con respecto al nivel de triyodotironina (T3), tiroxina (T4) y hormona estimulante de la tiroides (TSH) evaluados mediante un ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA); encontraron que existe una interacción significativa entre la exposición a la radiación y el género masculino con respecto a la media de TSH y T4, pero no a la T3; en ellos, la TSH media de los expuestos fue significativamente mayor que la de los hombres no expuestos (2,28 mUI/L frente a 1,59 mUI/L; $p = 0,003$). La TSH media no fue significativamente diferente entre las mujeres expuestas y no expuestas. La T4 media para los hombres expuestos fue significativamente mayor en comparación con los hombres no expuestos (11,1 pmol/L frente a 10,05 pmol/L; $p = 0,005$). Además, no hubo diferencias significativas en los hallazgos ecográficos de la glándula tiroides entre los grupos expuestos y no expuestos.

El hipotiroidismo parece ser la situación que con mayor frecuencia se reporta en las investigaciones de este tipo; tal como sucede en la investigación de Luna y Cols. (2019), donde al analizar posibles alteraciones de la función tiroidea relacionadas con valores dosimétricos en 46 trabajadores de la salud expuestos a radiaciones ionizantes; encontraron, para un periodo de 5 años, un aumento sérico de la hormona estimulante del tiroides sin alteración de T3 libre ni de T4 libre (7,1%); y una relación significativa entre el aumento de la hormona estimulante de la tiroides y los valores dosimétricos del año inmediatamente anterior (OR: 6,35, IC95%: 1,20–98,1, $p = 0,021$) y el período anterior de exposición a la radiación de 5 años (OR: 1,72, IC95%: 1,12–3,34, $p = 0,007$); lo que deja ver un mayor riesgo de hipotiroidismo subclínico relacionado con las dosis de radiación entre estos trabajadores que en sus prácticas diarias se ven expuestos a radiación ionizante.

En la investigación de Cioffi y Cols. (2020) que buscaba evaluar el posible papel de la exposición ocupacional a bajas dosis de radiación ionizante en el aumento del riesgo de alteraciones funcionales de la tiroides en los trabajadores de la salud, incluyó un total de 120 trabajadores de la salud expuestos (60 pertenecientes a la categoría A con una exposición potencial a una dosis anual entre 6 y 20 mSv y, 60 a la categoría B potencialmente expuestos a una dosis anual entre 1 y 6 mSv) y se compararon con sujetos sanitarios no expuestos. Se les midieron diferentes parámetros de función tiroidea como triyodotironina libre, tiroxina libre, hormona estimulante de la tiroides y autoanticuerpos tiroideos; encontrando una asociación significativa entre el hipotiroidismo y la exposición a dosis bajas de IR en trabajadores de la salud, lo que se confirmó incluso después de ajustar por edad, sexo y enfermedades tiroideas previas. Las probabilidades de desarrollar hipotiroidismo fueron aproximadamente 15 veces mayores que las probabilidades de los trabajadores no expuestos (OR = 14,9; IC del 95 % [1,53; 20,65], $p = 0,014$) (Tabla 5). La asociación también fue significativa cuando los trabajadores de categoría A (OR =

16,1, IC 95 % [1,53,22,64], $p = 0,016$) y categoría B (OR = 14,5, IC 95 % [1,23,20,68], $p = 0,026$) fueron individualmente en comparación con los controles no expuestos; es decir que la exposición a bajas dosis de radiación ionizante parecería influir significativamente en un posible aumento del riesgo de hipotiroidismo en los trabajadores de la salud.

En el estudio de Al-Mohammed y Cols. (2021) la idea era poder evaluar la exposición ocupacional y del paciente tratado por cáncer de tiroides durante la hospitalización, midiendo las dosis ambientales y estimando el riesgo de radiación. La radioterapia para este cáncer normalmente utiliza ^{131}I ($T_{1/2}$ 8,02 días; energía β -máx. 606 keV, relación de ramificación 89,9%) y el personal puede recibir dosis importantes durante la preparación y administración de la fuente. Para ello consideraron un total de 206 terapias con yodo radiactivo realizadas en un hospital especialista durante un período de 6 meses. Se obtuvieron estimaciones de la tasa de dosis de exposición del paciente a una distancia de 30, 100 y 300 cm de la región del cuello de cada paciente. Las dosis ocupacionales y ambientales se midieron utilizando dosímetros termoluminiscentes calibrados. La media y el rango de actividad administrada (AA, en MBq) para los grupos de tratamiento de cáncer de tiroides e hipertiroidismo fueron 4244 ± 2021 (1669–8066), $1507,9 \pm 324,1$ (977,9–1836,9), respectivamente. Es de destacar que la dosis ocupacional media anual fue de 1,2 mSv (siendo los límites de dosis anuales de 20,0 mSv.), la de las dosis ambientales fuera de los pasillos de la sala de aislamiento resultó ser de 0,2 mSv, mientras que las dosis ambientales en la estación de enfermería estuvieron por debajo del límite inferior de detección. La exposición del personal de los pacientes tratados por cáncer de tiroides fue menor en comparación con los pacientes con hipertiroidismo. Así, se encontró que las exposiciones ocupacionales eran relativamente altas, mayores que la mayoría reportadas en otros estudios y a pesar de contar en el hospital con un protocolo bien definido y de cumplir con los estándares internacionales.

Guo y Cols. (2021) que evaluaron la asociación entre la exposición a la radiación ocupacional y los cambios en los niveles de hormona tiroidea entre los 2.946 trabajadores médicos de 20 hospitales expuestos a la radiación, hicieron pruebas de función tiroidea, hormona estimulante de la tiroides (TSH), triyodotironina (T3) y hormona tiroidea (T4)] que se extrajeron de la dosimetría y los registros médicos; encontraron que la dosis efectiva media anual fue muy baja y mostró una tendencia general a la baja (5 mSv/año, la dosis efectiva anual más alta fue el personal de medicina nuclear, con una diferencia leve pero significativa entre las exposiciones en hombres y mujeres, $p < 0,05$). Durante el período de seguimiento, los cambios en los niveles de T3 y T4 entre los trabajadores sometidos a radiación fueron de $-0,015$ [IC 95%: $-0,018$ a $-0,012$] nmol/L por año y $-2,294$ (IC 95%: $-2,426$ a $-2,162$) nmol/L por año, respectivamente. Los niveles de hormona tiroidea fueron significativamente diferentes entre hombres y mujeres. Los niveles de T3 en el grupo del cuartil superior de dosis fueron significativamente más altos que en el grupo del cuartil inferior ($p = 0,006$). No se observó una tendencia significativa a la disminución de los niveles de hormona tiroidea al aumentar las dosis efectivas promedio. Estos hallazgos llevaron a concluir que la secreción de hormona tiroidea podría verse afectada incluso en entornos de exposición a dosis bajas de radiación.

El estudio de Cheng y Cols. (2022) exploró principalmente el perfil de los trabajadores que laboraban con radiación dental y su exposición a la radiación ocupacional en Taiwán de 2013 a 2020; encontrando que el número monitoreado de estos trabajadores pasó de 678 a 770 en este periodo de tiempo. La dosis de exposición colectiva anual fluctuó entre 5,21 Sv-hombre y 15,47 Sv-hombre, pero mostró una tendencia decreciente. Aunque el número de trabajadores de radiación dental monitoreados aumenta, la dosis de exposición colectiva anual para los trabajadores de radiación dental monitoreados disminuyó en el periodo de seguimiento. Estos

resultados sugirieron que el riesgo de exposición a la radiación de los trabajadores de radiación dental es mucho menor que el de otros trabajadores de radiación médica, y el trabajo de radiación dental es un tipo de trabajo de radiación médica muy seguro. Lo importante sería identificar el protocolo que siguen estos profesionales para verificar cuáles apartados se pueden adoptar en diferentes instituciones a nivel mundial.

Para El-Benhawy y Cols. (2022) el propósito fue medir los niveles de panel de hormonas tiroideas y anomalías ecográficas en 120 profesionales médicos ocupacionalmente expuesto a radiación ionizante (IR); ellos se dividieron en Grupo I: trabajadores expuestos a la radiación ocupacionalmente expuestos al yodo radiactivo (^{131}I) (n=40), Grupo II: trabajadores expuestos a la radiación ocupacionalmente expuestos a rayos X (n=40), y Grupo III: profesionales sanos no expuestos pareados en edad y sexo con los grupos anteriores (n=40). Se midieron triyodotironina libre (fT3), tiroxina libre (fT4), hormona estimulante de la tiroides (TSH), anticuerpos anti-tiroperoxidasa (anti-TPO) y tiroglobulina (Tg); y se realizó ecografía de tiroides. Se midieron marcadores de estrés oxidativo como el malondialdehído (MDA), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y la capacidad antioxidante total (TAC); observando en el grupo I tuvo niveles de fT3 significativamente más altos que el grupo de control. Los niveles de fT3 fueron considerablemente más altos, mientras que la TSH fue sustancialmente más baja en los participantes del grupo II que en el grupo de control. La Tg fue notablemente más baja en los trabajadores expuestos a la radiación. Sin embargo, los niveles de anti-TPO en los trabajadores expuestos a la radiación fueron significativamente más altos que en el grupo de control. MDA y H_2O_2 fueron sustancialmente mayores; el TAC fue significativamente menor en los trabajadores expuestos a la radiación en comparación con el grupo de control. Según el examen ecográfico, el volumen tiroideo (GI vs GIII: $10,32 \pm 3,42$ ml vs. $4,62 \pm 1,13$ ml, $p < 0,001$; GII vs GIII: $11,65 \pm 5,95$ ml vs. $4,62 \pm 1,13$ ml,

$p < 0,001$) y el porcentaje de nódulos tiroideos en todos los trabajadores sometidos a radiación fueron significativamente mayores que en el grupo de control. Esto indica que, a pesar de las bajas dosis de exposición (entre 0.44-2.89 mSv en el grupo I y 0.5-3.6 en el grupo II), la exposición ocupacional a la IR afecta las hormonas tiroideas y se relaciona con una mayor probabilidad de desarrollar enfermedades inmunes de la tiroides.

Para Rasha y Cols. (2022) los resultados de la investigación que buscaba identificar la relación entre exposición ocupacional a radiación y el trastorno tiroideo en una muestra de 309 técnicos de departamentos de radiología de algunos hospitales públicos, la importancia estuvo en poder hacer afirmaciones sobre el tiempo diario de exposición a la radiación, pues no hubo trastornos de la tiroides en las personas expuestas a 3, 5 ó 6 horas diarias de radiación, pero el trastorno de la tiroides aumenta de 3 casos a las 8 horas de exposición a 5 casos; no obstante, también recalcan que es necesaria la realización de investigaciones con un mayor seguimiento al profesional expuesto ya que son diferentes las variables que pueden llevar a estos reportes, como el hecho de no utilizar las medidas de protección de manera estricta, no conocer los protocolos, entre otros; como lo expresado por Segura y Téllez (2009) al afirmar que evidentemente la radiación ionizante es potencialmente un agente etiológico del cáncer de tiroides ante la existencia de factores ocupacionales; no obstante, la ocurrencia de cáncer de tiroides no es consecuencia de la profesión, lo es por ejemplo acompañar a los pacientes durante sus estudios radiológicos, presentando 47% más de riesgo de cáncer de tiroides el haber acompañado al paciente en más de 50 ocasiones.

La investigación de Gaytán y Cols. (2023) que incluyó 54 médicos residentes de ortopedia para describir y analizar la exposición a radiación ionizante, utilizando un dosímetro de placa colocado debajo del mandil plomado por 10 meses; entrega aspectos importantes relacionados con

el conocimiento, y es que el 55.6% refiere tener conocimiento de la existencia de equipo de protección radiológica y el 40.7% refiere que tuvo entrenamiento previo en su uso; lo que lleva a que el 77.8% utilice el mandil plomado y el 31.5% la protección tiroidea; que el 81.5% se posicione a menos de 1 metro de la fuente de producción de rayos X del arco en C. La exposición a la radiación media total fue de 2.9 ± 2.17 mSv (intervalo de confianza del 95%: 1.25-14.28; $p=0.424$); con estos valores, aunque estos profesionales presentan dosis de radiación menores que el límite recomendado internacionalmente; también fue notoria la existencia de falta de conocimientos sobre protección radiológica, así como falta de interés e ignorancia de los efectos adversos de la radiación; lo que puede ser una preocupación latente, pues estos profesionales utilizan las radiografías como elementos de primera mano para el diagnóstico.

3. Método

3.1 Tipo de Estudio

Observacional, descriptivo de serie de casos.

3.2 Selección y descripción de participantes población

Endodoncistas en diferentes ciudades del país (hombres y mujeres) de 30 a 50 años, con práctica activa en endodoncia.

3.2.1 Muestra y tipo de muestreo

La muestra está conformada por un total de 20 sujetos: 10 profesionales especialistas en endodoncia que se incluyeron en la primera etapa de este estudio; y luego un total de 10

profesionales para la segunda etapa (etapa de actualización de información). El muestreo fue por conveniencia.

3.2.2 Criterios de selección

3.2.2.1 Inclusión.

- Endodoncistas, de 30 a 50 años, con práctica clínica activa en endodoncia que utilicen equipo de rayos X portátil y dispositivos digitales de captura de imagen.
- Endodoncistas que en prueba de sangre inicial no demuestren tener alteración en el patrón funcional de la glándula tiroides.
- Endodoncistas que no consuman ningún tipo de medicamento de forma habitual.
- Endodoncistas que hayan participado en el primer estudio de seguimiento.

3.2.2.2 Exclusión.

- Endodoncistas, que utilicen el equipo de rayos X portátil menos de dos días en la semana
- Endodoncistas con uso menor a seis meses del equipo de rayos X portátil.
- Antecedentes familiares de hipotiroidismo.
- Endodoncistas con antecedentes de cáncer.
- Endodoncistas con antecedentes de radio o quimioterapia
- Endodoncistas con otro tipo de afectaciones endocrinológicas (por ejemplo, diabetes).
- Endodoncistas mujeres en embarazo.

3.3 Operacionalización de variables

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Naturaleza	Escala de medición	Valores que asume
Edad	Tiempo que ha vivido una persona	Años cumplidos de los participantes en el momento de realizar el estudio	Cuantitativa	Razón	De 18 años en adelante
Sexo	Genero de los participantes	Hombre- mujer	Cualitativa	Nominal	Femenino Masculino
Años utilizando el equipo	Tiempo de uso del equipo de rayos x portátiles en la practica	Duración del participante utilizando el equipo en su consulta	Cuantitativa	Razón	De 1 año en adelante
Número de pacientes atendidos diarios	Cantidad de pacientes que se les realiza procedimientos por día	Cantidad de pacientes referida por el endodoncista que atendió en una jornada laboral	Cuantitativa	Razón 1	De 1 en adelante
Número de radiografías tomadas por paciente	Cantidad de radiografías tomadas con cada paciente	Cantidad de frecuencia de exposición a los rayos x por paciente referido por el endodoncista	Cuantitativa	Razón	De 1 en adelante
THS (inicial- final)	Análisis de sangre que mide la hormona estimulante de la tiroides	0,37 y 4,7 mUI/L	Cuantitativa	Razón	Considerar que los valores normales son 0,37 y 4,7 mUI/L
T3 (inicial- final)	Prueba mide el nivel de triyodotironina (T3) en la sangre	1,2 y 2,7 nmol/L	Cuantitativa	Razón	Considerar que los valores normales son 1,2 y 2,7 nmol/L
T4L (inicial- final)	Prueba de tiroxina en sangre que ayuda a diagnosticar enfermedades de la tiroides	60 y 150 nmol/L	Cuantitativa	Razón	Considerar que los valores normales son 60 y 150 nmol/L
Dosímetro	Instrumento de medición de dosis absorbida en un contexto de protección radiológica.	Se recomienda que sea menor a 20mSv	Cuantitativa	Razón	De 1 en adelante

3.4 Instrumento

El instrumento que se utilizó fue un cuestionario realizado en Microsoft Word, el cual constará de cuatro partes:

1. La primera parte fueron los datos básicos del profesional (nombre completo, edad, sexo) y se documentará el tiempo que ha estado utilizando los equipos de rayos X.
2. En la segunda parte se colocarán los resultados de las pruebas de laboratorio de los perfiles tiroideos.
3. En la tercera parte se recolectará información diariamente sobre la frecuencia del uso del equipo de rayos X, número de pacientes atendidos y número de tomas de radiografías por paciente
4. En la cuarta parte tuvieron los resultados de recolectados por el dosímetro a los 3 y 6 meses para el primer grupo (G1) y, a los 3 meses para el grupo 2 (G2, profesionales endodoncistas que se incluyeron para la continuación del proyecto), la idea es poder observar los cambios que tienen los profesionales al estar expuestos por más tiempo.
5. Toda la información obtenida a través del instrumento luego fue diligenciada en una tabla de Excel que fue diseñada para recopilar la totalidad de datos que posteriormente serán exportados al software estadístico. Cada columna de esta tabla corresponderá a cada una de las variables aquí consideradas.

3.5 Procedimiento

Esta investigación es la continuación de un estudio realizado y culminado anteriormente; la idea es poder hacer un seguimiento de los profesionales considerando los efectos en un periodo de exposición más largo.

El listado de los profesionales se obtuvo de una base de datos de profesionales en endodoncia. Se contactó con cada uno de los participantes y al verificar su participación se les envió el consentimiento informado (anexo A) vía e-mail el cual devolvieron firmado electrónicamente por el mismo medio.

Con el fin de garantizar los criterios de inclusión de los participantes del estudio se indagó sobre la historia clínica, como antecedentes médicos relevantes, y antecedentes epigenéticos. Una vez seleccionados los participantes del estudio, a cada participante se le hizo tomar una prueba de perfil tiroideo. Para este análisis, un profesional en bacteriología le extrajo una muestra de sangre del brazo a cada participante. Para iniciar y a modo de estandarizar los procesos, las tomas de los perfiles tiroideos fueron realizadas todas en un mismo laboratorio que tiene sedes a nivel nacional, esto con el fin de contar con resultados presentados de manera igual y que garanticen una fácil recolección de la información. Dicha institución es IDIME Laboratorio Clínico y de ellos se solicitó el protocolo de toma de muestras para poder organizar de manera más adecuada el formato de recolección de información.

3.5.1 Toma de muestra de sangre

La toma de la muestra de sangre y su custodia fue acorde a las políticas del laboratorio.

3.5.2 Cuidados y recomendaciones

- Realizar lavado de manos quirúrgico.
- Mantener técnica aséptica durante todo el procedimiento.

- Utilizar campo estéril para evitar tener contacto con áreas circundantes que ofrezca el riesgo de contaminación.
- Realizar antisepsia de la zona a puncionar; no palpe la vena sin guantes estériles una vez preparada la piel.
- No cambiar la aguja para envasar la sangre en los frascos colectores.
- Se debe mantener una dilución en las botellas de hemocultivos de 1:10 para pacientes adultos de acuerdo con la recomendación del fabricante.
- Colocar la muestra en botella con rótulo específico

3.5.3 Técnica de recolección

- Limpiar el tapón del frasco colector con alcohol al 70% antes de puncionar para envasar la muestra.
- Obtener 8 a 10cc de sangre para cada frasco en pacientes adultos.

3.5.4 Equipo

- Bata y campos estériles.
- Gorro y mascarilla con protección ocular.
- Guantes estériles.
- Equipo de asepsia (antiséptico, gasas y guantes estériles).
- Frascos para hemocultivos.
- Jeringas estériles.

3.5.5 *Transporte*

- Se recomienda en los primeros 15 minutos de la recolección a temperatura ambiente.
- Envío de muestras a laboratorio clínico para ser procesada y analizadas.
- La sangre debe mantenerse refrigerada hasta su procesamiento (centrifugado y separado del plasma/suero).
- Los resultados de las pruebas se recolectaron y, fueron evaluadas y diagnosticadas por un especialista en endocrinología, lo visto por el especialista se anexó a la encuesta de cada participante. Los valores de referencia se muestran en la siguiente tabla.

Figura 1. *Valores de referencia del perfil tiroideo*

Hormona	Valor mínimo	Valor máximo	
TSH	0,4	4,5	mUI/L
T3	3,5	7,8	pmol/L
T4	9	25	pmol/L

3.5.6 *Dosímetro*

A cada participante se le entregó un dosímetro (figura 1) de la empresa *Dosimetría Personal* calibrado por el mismo proveedor, el cual debía utilizar únicamente en su práctica diaria durante el tiempo del estudio. Trimestralmente se hizo la lectura de dichos dosímetros con tecnología de Dosimetría termoluminiscente (TLD). En total se hicieron las lecturas de dosímetros a los 3 y 6 meses para el primer grupo (G1) y, a los 3 meses para el grupo 2 (G2, profesionales endodoncistas que se incluyeron para la continuación del proyecto).

3.5.7 Encuesta

Durante el tiempo del estudio a los participantes reclutados se les realizó una encuesta donde el profesional diariamente de manera escrita va a recopilar: cuantos pacientes vio en el día y cuantas radiografías le tomó a cada paciente (anexo B). Se llamará al final del día a los profesionales con el fin de confirmar la recolección de los datos. Esta encuesta se recolectó mensualmente, durante los meses del estudio. Al finalizar el estudio se recopilaron los datos y se sacaron totales.

Figura 2. Profesionales haciendo uso del dosímetro en la investigación



Al finalizar el tiempo del estudio a los participantes se les tomó un segundo perfil tiroideo y se diagnosticaron apoyados en el mismo profesional que hizo el diagnóstico inicial y la prueba se realizó en el mismo laboratorio. Se hicieron comparaciones entre la primera prueba y la final, con el fin de observar posibles cambios en el órgano de estudio.

3.6 Análisis estadístico

Todos los datos obtenidos de las encuestas y pruebas de laboratorio, que fueron diligenciados en Excel, fueron exportados al software estadístico EpiInfo Versión 7.2.6, haciendo estadística descriptiva, se consideraron primero las variables numéricas, las cuales se presentaron según medidas de tendencia central junto con la medida de dispersión y, considerando el tipo de distribución que presenten; esta característica fue evaluada utilizando la prueba estadística Shapiro Wilk, la cual tiene valor de $p < 0.05$ cuando los datos no vienen de una distribución normal. En una segunda instancia se tuvo en cuenta las variables sexo y uso de protección, las cuales fueron presentadas a través de frecuencia absoluta y porcentaje.

3.7 Implicaciones bioéticas

- Este estudio se contempla en el marco de la Ley 23 de 1981. La ley de Ética Médica
- Considerando la normatividad colombiana, se cuenta con la Resolución 8430 de 1993 por las que se establecen las normas científicas técnicas y administrativas para la investigación en salud y para este caso en particular, la protección de datos clínicos derivados de la historia clínica reglamentada por la resolución de 1995 de 1999 y la ley estatutaria de HABEAS data 1581 de 2012 por la cual se dictan las disposiciones generales para la protección de datos personales sancionada mediante la ley de 1581 de 2012 y reglamentada por el decreto de 1377 de 2013 que regula el manejo de datos sensibles.
- El proyecto describe una investigación científica en sujetos humanos con un riesgo mínimo que estará sujeto a las disposiciones vigentes presentes en la resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia y hará uso de consentimiento informado.

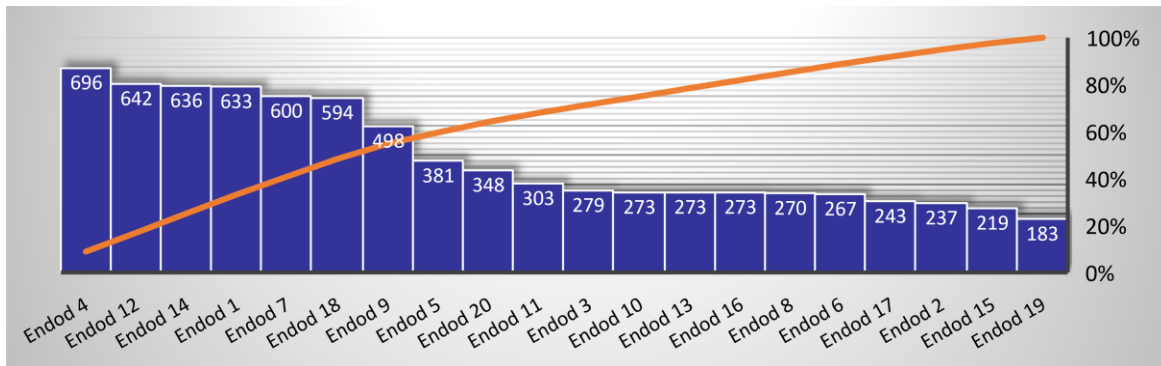
4. Resultados

Este estudio contó con la participación de 20 odontólogos especialistas en endodoncia; de éstos, 10 profesionales fueron incluidos en la primera etapa de esta investigación y 10 adicionales se incluyeron en la segunda etapa como una forma de complementar la información con datos a largo plazo, en dicho grupo el 70% eran mujeres, el promedio de edad del grupo fue de $36,55 \pm 7,36$ años, siendo el de las mujeres de $35,07 \pm 7,38$ años y el de los hombres de $40,00 \pm 6,60$ años. Con relación al uso de protección radiológica el 55% utilizaban rutinariamente chaleco plomado (participantes 1,4,5,8,10,12,13,15,16,17,19), 35% lo utilizan ocasionalmente (participantes 3,6,7,11,14,18,20) y, los dos restantes afirmaron no usarlo o no respondieron (10%); adicionalmente, los profesionales llevan usando el equipo portátil $4,05 \pm 1,90$ años.

Durante los tres meses de seguimiento se tomaron un total de 7848 radiografías, pero son sólo 7 profesionales los que aportan más del 50%; lo importante es que también se puede evidenciar, que en este grupo de profesionales que realizan mayor número de tomas radiográfica también se encuentran varios de los que no tienen un control estricto en el uso de protección (participantes 7,9,14,18) (figura 2).

Este número de radiografías se presentó porque los profesionales manifestaron atender cerca de $2 \pm 0,79$ pacientes diarios, a los cuales les realizaban en promedio $4,2 \pm 1,74$ radiografías; el promedio de radiografías tomadas durante el mes de octubre fue de $121,5 \pm 62,24$ radiografías; en el mes de noviembre fue de $140,45 \pm 63,72$ radiografías y en el mes de diciembre fue de $130,45 \pm 53,95$ radiografías; es decir un promedio mensual de $130,80 \pm 58,41$ radiografías durante el tiempo que duró la investigación.

Figura 3. Radiografías tomadas por cada profesional durante los tres meses de seguimiento



Con respecto a los datos recibidos del dosímetro personal, se presentan tanto los valores obtenidos durante el primer estudio, como los obtenidos en la segunda medición; permitiendo observar que sólo en el caso de un profesional (participante 9) se presentaron lecturas diferentes a 0 ó no detectable (ND); entendiéndose que ND, indica que la lectura arrojada por el dosímetro se encontró entre cero y el nivel mínimo de detección para TLD (0.01 mSv), para película (0.1mSv); así, la participante 9 tuvo un resultado de dosis acumulada desde el ingreso de 0.15 (tabla 3) lo que evidencia cambios importantes si se compara con los resultados obtenidos durante la primera intervención (tabla 4).

Tabla 3. Resultados del dosímetro personal en la segunda medición

Sexo	Fecha de ingreso al servicio prueba 1	Periodo uso dosímetro		Ubicación del dosímetro	Tipo de radiación de la exposición	Dosis del periodo (mSv)	Dosis del periodo (mSv)	Dosis del periodo (mSv)	Dosis acumulada desde el ingreso (mSv)
		Primer día	Último día			Hp (10)	Hp (0.7)	Hp (3)	Hp (10)
F	10.2023	1	90	Tórax	X	0,15	0,17	0,16	0,15

Nota. Resultado de los dosímetros diferentes a 0 (participante 9)

Tabla 4. Resultados del dosímetro personal en la primera medición

Sexo	Fecha de ingreso al servicio prueba 1	Periodo uso dosímetro		Ubicación del dosímetro	Tipo de radiación de la exposición	Dosis del periodo (mSv)	Dosis del periodo (mSv)	Dosis del periodo (mSv)	Dosis acumulada desde el ingreso (mSv)
		Primer día	Último día			Hp (10)	Hp (0.7)	Hp (3)	Hp (10)
F	5.2023	1	31	Tórax	X	0,40	0,42	0,41	0,40
M	5.2023	1	31	Tórax	X	0,03	0,04	0,03	0,03
F	5.2023	1	31	Tórax	X	0,41	0,42	0,42	0,41

Nota. Resultado de los dosímetros diferentes a 0 (participantes 3,7,9)

De esta profesional (participante 9) se sabe que tiene un equipo de Rayos X portátil de Marca Carry X, que dicho equipo funciona adecuadamente, que ella no utiliza protección durante su práctica laboral y que su carga de trabajo es de aproximadamente de 42 exposiciones por semana; entonces, con los mismos elementos de juicio considerados en la primera intervención, se encuentra que el nivel de afectación que está teniendo la profesional continua siendo alto; y bajo estos mismos criterios se presenta la tabla 5 donde se evidencia que esta participante presenta una carga de trabajo de 0.2, en cuanto a los Amperes por segundo fue de 0.2, el tiempo de exposición fue de 0.1 segundos, una dosis medida en diente por exposición de 60mR, una tasa a 2 m de distancia de la fuente de 2,72 μ Sv/hora, datos con los que al final se tiene una tasa semanal de 163,3 mSv/hora.

Tabla 5. Carga de trabajo

Participante	Carga de trabajo en mAmin/semana	mAs por radiografía	Texp segundos	Dosis medida en diente por exposición mR	Tasa a 2m de distancia de la fuente (equipo) uSv/hora	Tasa bajo delantal uSv/hora	Tasa en cuello con protección uSv/hora	Tasa semanal uSv/hora
9	0,2	0,2	0,1	60	2,72	No medida*	No medida*	163,2

Se tuvieron en cuenta las indicaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) de 2007, donde se establece que límite máximo permitido para personal profesionalmente expuesto debe estar por debajo de los 100 mSv en cinco años oficiales trabajados, con máximo 50 mSv en cualquiera de los años de exposición, buscando no exceder la dosis anual de 20 mSv, y considerando un año con 46 semanas restando dos de vacaciones; para este estudio se toma 1,2 μ Sv/hora por exposición como referencia para condiciones de trabajo normales (toda vez que se utilicen los elementos de protección disponibles en el mercado y demás recomendaciones de manera adecuada) y que funcionan dentro del rango de tiempo de exposición ajustable. Dando como resultados que el Estimado de equivalente de dosis absorbida en 46 semanas continuas μ Sv/año sería para la participante 9 de $375,36 = 0,3753$ mSv/año.

Con relación a los valores de la hormona THS, T4L y T3 de los 20 profesionales, estos se presentan recopilados en la tabla 6 considerando las mediciones tomadas en la primera y segunda intervención, dejando en evidencia valores por fuera del intervalo biológico de referencia a la participante 9 en los valores de T4L para el mes de agosto cuando superó los valores normales y en el mes de diciembre cuando, por el contrario, pasó a estar por debajo de éstos; también en los resultados de la hormona T3 estando por debajo del intervalo de referencia tanto en octubre como en diciembre. Los demás participantes, aunque sus datos varían aumentando o disminuyendo durante todo el periodo de seguimiento, ninguno se sale de los rangos de normalidad establecidos para de THS, T4L y T3.

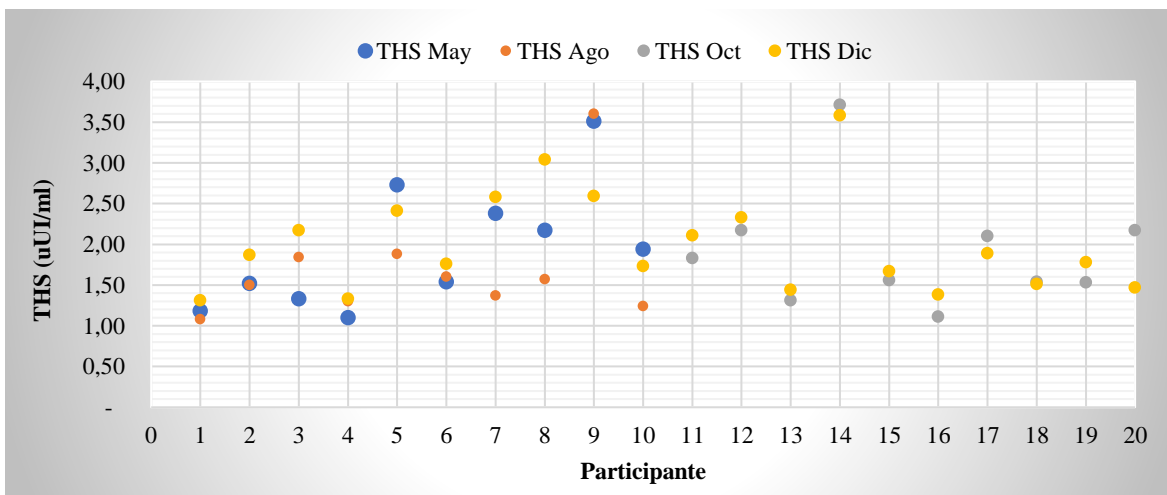
Tabla 6. Valores de las hormonas THS, T4L y T3 en los diferentes periodos de seguimiento

No.	THS				T4L				T3	
	Intervalo de referencia 0.27-4.20 uUI/ml				Intervalo de referencia 0,93 – 1.7 ng/dL				Intervalo de referencia 80 – 200 ng/dL	
	May	Ago	Oct	Dic	May	Ago	Oct	Dic	Oct	Dic
1	1.18	1.08		1.31	0.93	1.01		1.12	91.3	88.4
2	1.52	1.50		1.87	1.25	1.33		0.98	87.6	85.7
3	1.33	1.84		2.17	1.29	1.17		1.12	93.7	91.3
4	1.10	1.30		1.33	1.10	1.29		1.13	110	94.8
5	2.73	1.88		2.41	1.12	1.11		1.40	156	113.6
6	1.54	1.60		1.76	1.29	1.15		1.38	89.8	112.7
7	2.38	1.37		2.58	1.23	1.25		1.15	80.3	91.4
8	2.17	1.57		3.04	1.31	1.27		1.31	113.4	110
9	3.51	3.60		2.59	1.30	3.23		0.88	55.6	58.6
10	1.94	1.24		1.73	1.36	1.25		1.17	112.3	103.4
11			1.83	2.11			0.97	1.03	87.9	84.18
12			2.17	2.33			1.04	0.94	95.6	99.8
13			1.31	1.44			1.32	1.12	80.9	105.6
14			3.71	3.58			1.30	1.27	97.3	89.7
15			1.56	1.67			1.70	1.62	88.9	107.5
16			1.11	1.38			0.99	1.07	87.6	91.7
17			2.10	1.89			1.10	1.14	96.1	93.7
18			1.54	1.51			1.69	1.46	101.6	102
19			1.53	1.78			0.97	0.99	182.3	176.4
20			2.17	1.47			1.30	1.31	165	157

Nota: Resultados de exámenes de sangre TSH, T4L Y T3

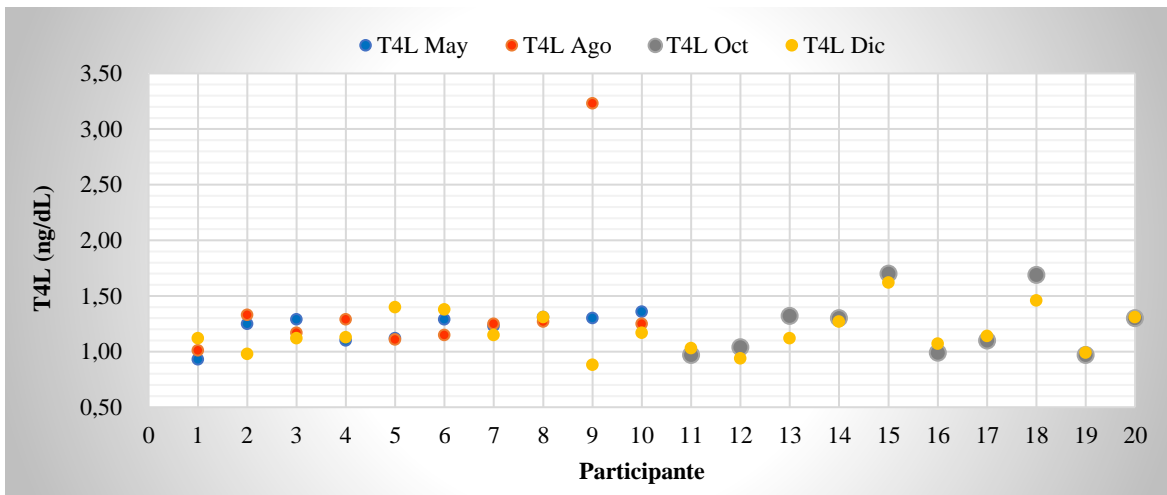
En la gráfica de dispersión de la hormona THS que se presenta a continuación, se evidencian 4 valores que están presentándose de manera irregular y que corresponden al paciente 9 y al paciente 14; aun así, estos se encuentran dentro del rango normal (figura 3).

Figura 4. Dispersión de puntos de valores de la hormona THS reportados para cada paciente

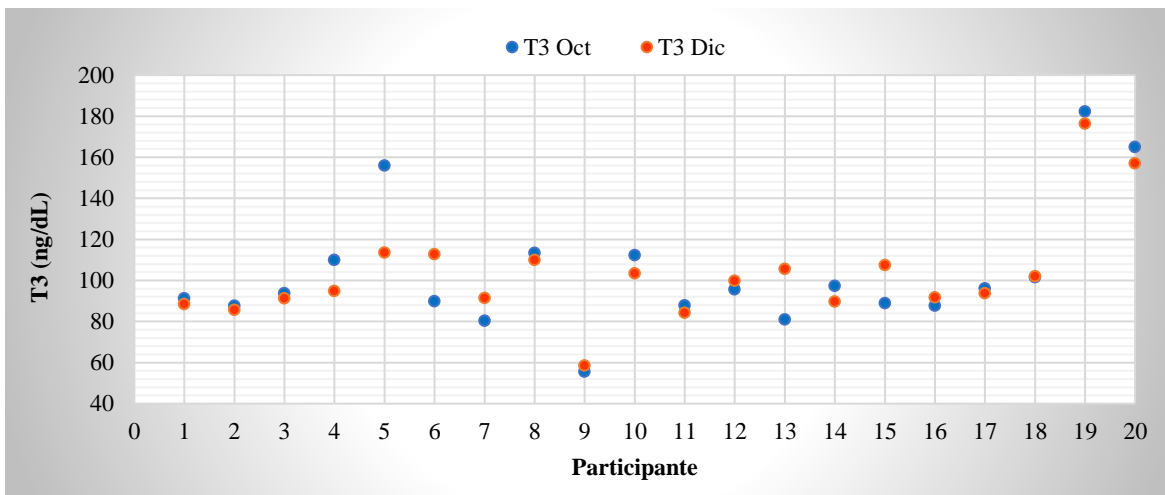


La figura 4 muestra la dispersión de los valores que se obtuvieron para la hormona T4L, donde resultan más claros los valores atípicos que se están obteniendo para la participante 9.

Figura 5. *Dispersión de puntos de valores de la hormona T4L reportados para cada paciente*



Los datos de la hormona T3 obtenidos para cada uno de los 20 pacientes durante los meses de octubre y diciembre de 2023 se presentan en la figura 5; aquí, aunque son evidentes 5 datos que se encuentran por encima de la tendencia general, todavía se encuentran dentro del rango de normalidad; sucede de manera diferente con lo encontrado en la paciente 9 que nuevamente presenta valores por fuera del intervalo biológico de referencia, pero en este caso por debajo de la norma.

Figura 6. *Dispersión de puntos de valores de la hormona T3 reportados para cada paciente*

Lo que se debe tener siempre presente es que dicha profesional es la única que manifiesta no hacer uso nunca de protección al realizar la toma de radiografías, convirtiéndola en un participante atípico bajo condiciones diferentes al resto del grupo.

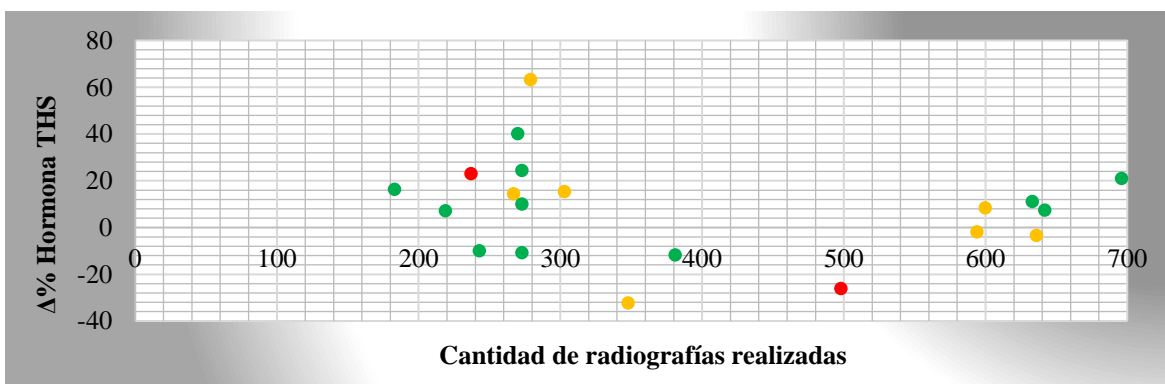
En un paso posterior se consideraron los cambios porcentuales de las mediciones (inicial independientemente del grupo y seguimiento a diciembre) y la utilización de elementos de protección personal cuando hacían uso del equipo de Rayos X. Entonces, al considerar los resultados de las encuestas diarias realizadas y los participantes que manifestaron utilizar siempre los elementos de protección, se encuentra un resultado de hormona TSH con tendencia a aumentar, una hormona T4L que permanece casi sin cambios y una hormona T3 con tendencia a disminuir; cuando se analizan los participantes que respondieron que a veces usan protección, se evidencia un aumento en la TSH, y una T4L y T3 con tendencia a disminuir; además, también se nota un aumento proporcional en ambas variables cuando la cantidad de radiografías también aumenta, situación que tiene mucho sentido porque se estaría ante una exposición mayor (tabla 7).

Tabla 7. Cambio porcentual en pruebas THS, T4L y T3 considerando el uso de protección y cantidad de radiografías (de mayor a menor según protección)

No.	$\Delta\%$ THS	$\Delta\%$ T4L	$\Delta\%$ T3	Usa protección	Cantidad de radiografías (3 meses)
4	20,91	2,73	-13,82	Siempre	696
12	7,37	-9,62	4,39	Siempre	642
1	11,02	20,43	-3,18	Siempre	633
5	-11,72	25,00	-27,18	Siempre	381
10	-10,82	-13,97	-7,93	Siempre	273
13	9,92	-15,15	30,53	Siempre	273
16	24,32	8,08	4,68	Siempre	273
8	40,09	0,00	-3,00	Siempre	270
17	-10,00	3,64	-2,50	Siempre	243
15	7,05	-4,71	20,92	Siempre	219
19	16,34	2,06	-3,24	Siempre	183
7	8,40	-6,50	13,82	A veces	600
14	-3,50	-2,31	-7,81	A veces	636
18	-1,95	-13,61	0,39	A veces	594
20	-32,26	0,77	-4,85	A veces	348
11	15,30	6,19	-4,23	A veces	303
3	63,16	-13,18	-2,56	A veces	279
6	14,29	6,98	25,50	A veces	267
9	-26,21	-32,31	5,40	No	498
2	23,03	-21,60	-2,17	NR	237

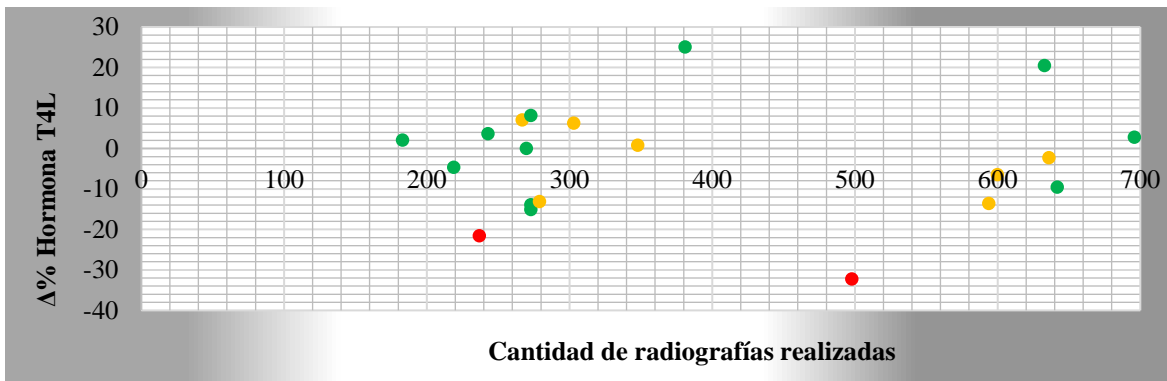
Nota: Cambio porcentual en pruebas THS, T4L y T3

Cuando se analiza la relación entre la cantidad de radiografías y los cambios porcentuales en las variables medidas al final del seguimiento (TSH, T4L y T3 en diciembre), en la figura 6 resulta evidente que a mayor cantidad de radiografías también hay un aumento en los cambios porcentuales de la TSH, una disminución en los valores de T4L (figura 7) y en los valores de T3, con una clara distinción en los valores de T4L y T3 del paciente 9 (figura 8).

Figura 7. Relación entre la cantidad de radiografías y los cambios porcentuales en la TSH en diciembre

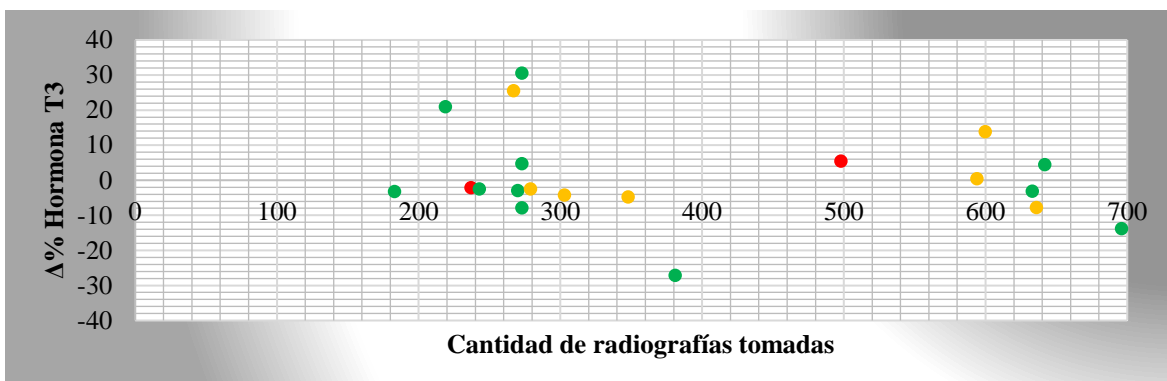
Nota. En verde "siempre usan protección", amarillo "a veces", rojo "nunca/NR"

Figura 8. Relación entre la cantidad de radiografías y los cambios porcentuales en la T4L en diciembre



Nota. En verde “siempre usan protección”, amarillo “a veces”, rojo “nunca/NR”

Figura 9. Relación entre la cantidad de radiografías y los cambios porcentuales en la T3 en diciembre



Nota. En verde “siempre usan protección”, amarillo “a veces”, rojo “nunca/NR”

5. Discusión

En este estudio, se realizaron una serie de evaluaciones físicas y hormonales para determinar la exposición a la dosis de radiación que tenían 20 endodoncistas; esta investigación donde prevalecieron las mujeres (70%), y donde la edad promedio fue de $36,55 \pm 7,36$ años, coincidiendo con investigaciones como la realizada por Cioffi *et al.* (2020) donde hubo mayor participación de mujeres (51,7%), con la de Cheng *et al.* (2022), donde la razón hombre:mujer trabajadores dentales fue de 1:1.13 en el año 2013 y de 1:1.31 en 2020, pero difiriendo de otras

como la de Alawneh *et al.* (2018) donde el porcentaje de hombres fue del 78%; lo que se debe considerar en estos casos es que, por lo general, las mujeres suelen estar mucho más dispuestas a participar en investigaciones como ésta y que en Colombia, según reportes del Ministerio de Salud y Protección Social, por cada hombre odontólogo hay 2,2 mujeres (Ternera, 2020).

Con respecto a las mediciones realizadas, destaca el hecho que en casi la totalidad del grupo (95%, n=19) las dosis de radiación absorbidas por periodo, arrojadas por los dosímetros tuvieron valores de cero (0) o no detectables (ND); lo que puede estarse presentando porque en general, los profesionales parecen estar trabajando bajo condiciones seguras al momento de hacer la toma de las radiografías dentales; es decir, haciendo uso de los elementos de protección personal como el delantal de plomo y a una distancia segura según las indicaciones desde la fuente; tal como lo manifiestan Jayan *et al.* (2023) que tras un estudio multicéntrico demostraron que con buenos protocolos de protección radiológica, como mantener una distancia segura de la fuente de radiación y garantizar la debida protección personal mediante el uso de delantales de plomo y collares tiroideos durante la radiología dental, pueden limitar las dosis absorbidas a niveles extremadamente bajos; y es que los consultorios dentales del ejército indio permiten a los operadores mantenerse a una distancia segura de 6 pies (1,83 m) de la fuente de radiación.

Sin embargo, también es preciso mencionar los datos del dosímetro obtenidos en la paciente 9 (0,15 mSv en la segunda medición y 0,41 mSv en la primera medición), que difieren del resto de datos del grupo, lo que evidentemente se relaciona con lo manifestado por ella misma, al indicar el no uso de elementos de protección personal como el chaleco de plomo, guante de plomo y/o el collar de tiroides, durante su práctica clínica (es la única profesional que nunca los usa), aunque aparentemente ha realizado cambios durante sus prácticas pues es notoria la disminución en los valores del dosímetro entre la primera y la segunda medición; y es que al

respecto la literatura es amplia y suficiente al mostrar las bondades del uso de dichos elementos para garantizar un menor riesgo para la salud de los profesionales (International Commission on Radiological Protection, 2007; Cioffi *et al.*, 2020; Stelt, 2005; Gaytan *et al.*, 2023; Segura y Tellez, 2009). Alawneh *et al.* (2018) y El-Benhawy *et al.* (2022) hacen una afirmación a la que se le puede atribuir valor, y es que, según su propia observación, en la práctica diaria, los escudos de protección como el usado para la tiroides se toman a la ligera y con frecuencia el personal médico no los toma en serio.

A pesar de estos resultados, también hay que considerar lo manifestado por White y Mallya (2012) en su investigación, y es que una de las mayores dificultades en los estudios es que cuando las dosis son inferiores a 100 mGy (teniendo en cuenta que 1 mGy= 1mSv), se requieren tamaños de muestra grandes, lo que supone una preocupación con respecto a los hallazgos de esta investigación pues el tamaño de muestra es de solo 20 profesionales. No obstante, Luna et al. (2019) indican que estudios prospectivos han afirmado que es necesaria una dosis mayor a los 50 Gy para generar un cambio en la tiroides ya que rara vez se presenta en pacientes expuestos a menos de 10 Gy, pero si los profesionales se exponen de manera repetida a pequeñas dosis los niveles de TSH, aumentarán después de los seis meses y muy posiblemente se darán problemas en la tiroides en los cinco primeros años; es tal vez esta exposición repetida la que se está presentando en la profesional 9, donde sus valores de THS aumentada y, T4L y T3 disminuida están apuntando a un hipertiroidismo primario.

De la primera investigación realizada y que incluyó a esta misma profesional, los investigadores afirman que si ella utilizara elementos de protección la tasa semanal sería menor al 50% de lo que actualmente registra y por consiguiente el nivel anual sería de solo la mitad de lo actual (0,1656 mSv/año en lugar de 0,3753) (Amaya *et al.*, 2023).

Incluso estos autores también reportan la influencia que puede estar teniendo el equipo portátil de la profesional; un *CarryX* que es un dispositivo compacto, que por manejarse con una sola mano puede resultar difícil de manipular y llevar a que el operador pierda noción de una posición segura, haciendo que reciba una radiación directa. Dicho equipo tampoco cuenta con un disco de retrodispersión para protección que sirve para ayudar a disminuir la dosis en manos en hasta 32%, y hasta 37% a nivel de pecho y cintura del operador. Las recomendaciones indican que es determinante que el operador se ubique detrás del plano del punto focal del dispositivo y que siga las indicaciones de las casas fabricantes para no exponerse a fugas de radiación o radiación dispersa que al final aumenten la dosis absorbida por el profesional (Cárdenas *et al.*, 2016; Barba y Sequeira, 2021).

Con relación a los valores de la THS, T4L y T3, en el grupo en general los valores estuvieron fluctuando dentro de los rangos considerados de normalidad (Santiago, 2020); sin embargo, en el caso de la participante 9 la secreción de hormona tiroidea parece verse afectada por la exposición crónica durante la práctica profesional. Parece ser que, el número de radiografías, adicional al tipo de equipo utilizado y la falta de protección personal se han conjugado para que esta profesional esté viendo alteradas sus condiciones de salud.

Finalmente, esta investigación lleva a resultados importantes que deben ser considerados por los profesionales de la endodoncia; sin embargo, las principales limitantes que se presentaron fueron el corto periodo de tiempo para el seguimiento y el tamaño de muestra reducido, los cuales pueden no dejar revelar los verdaderos efectos del uso de los dispositivos portátiles de Rayos X en la salud de los profesionales.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se presenta el siguiente protocolo de autocuidado, pues es conocido que los odontólogos, especialmente los endodoncistas estamos

expuestos a la radiación de tipo ocupacional; con este protocolo buscamos minimizar los riesgos que conlleva esta exposición:

1. Uso de delantal plomado y protector de tiroides plomado
2. Reducir al máximo el tiempo de exposición
3. Aumentar al máximo la distancia de la fuente
4. Uso, recambio y control de dosimetría personal
5. Utilizar siempre posicionador y nunca sujetar al paciente durante la toma radiográfica.
6. Asegurarse de tener un equipo que emita la mínima radiación
7. Realizar mantenimiento preventivo a nuestros equipos de rayos X
8. Realizarse rutinariamente exámenes de perfil tiroideo.

6. Conclusiones

Los valores obtenidos en la hormona THS para todo el grupo de investigación, a pesar de presentar subidas y bajadas durante todo el periodo de seguimiento, se mantuvieron dentro de los intervalos biológicos de referencia; sin embargo, existen dos profesionales con los que valdría la pena realizar un análisis a largo plazo a causa de los valores presentados, y especialmente a la participante 9 cuyos valores tienden a estar muy por encima de la media presentada por el resto de los profesionales.

Con respecto a la hormona T4L y la hormona T3, los valores sólo se encontraron por fuera del intervalo biológico de referencia en la participante 9; lo que evidentemente puede estar asociado con el hecho que es esta misma profesional la única que manifiesta no utilizar elementos de protección radiológica durante su práctica clínica y, además, también una de las que más radiografías realizó durante el periodo de seguimiento. Entonces, considerando sus conductas, los

valores de las tres hormonas analizadas y los patrones hormonales de función tiroidea de la profesional pueden ser referencia de inicios de hipertiroidismo primario.

La frecuencia de exposición a nuevas tecnologías en radiología, y en este caso los Rayos X portátiles, para este grupo de profesionales fue de 2 pacientes diarios, realizándoles cerca de 4 radiografías, llevando a que se tomaran cerca de 130 radiografías mensuales; entonces, bajo condiciones adecuadas de protección, considerando las características de cada equipo y frecuencia de uso de radiografías, hacen que las dosis de absorción encontradas se mantengan en un rango adecuados para los profesionales sin generar afectaciones a la salud; no obstante, hay que considerar las particularidades de la participante 9, pues si bien entre la primera y segunda intervención se presentaron cambios en los valores reportados por el dosímetro que aparentemente apuntan a un mayor cuidado durante las tomas radiográficas, todavía se encuentran dentro de los valores de riesgo.

Entonces, si bien el grupo en general presenta valores normales para las hormonas THS, T3, T4L y en la dosis de radiación absorbida, existe un paciente que deja en evidencia cómo el no uso de protección durante la práctica puede llevar a cambios hormonales que pueden afectar la glándula tiroides.

7. Recomendaciones

Considerando las limitaciones que se tuvo en este estudio es necesario en investigaciones futuras trabajar con un tamaño de muestra más grande, con un periodo de tiempo más amplio, y de preferencia incluyendo profesionales en los que se haya identificado de manera previa el no uso adecuado de los elementos de protección radiológica personal para compararlos con uno en los

que siempre hagan uso de éstos; incluso podría considerarse un estudio donde los investigadores hagan un seguimiento observacional durante las prácticas de los endodoncistas, para verificar lo que efectivamente están contestando los participantes y sus niveles de conocimiento sobre el trabajo con radiación.

Referencias

- Alawneh, K.; Alshehabat, M.; Al-Ewaidat, H.; Raffee, L.; Forihat, D.; Khader, Y. (2018). Asymptomatic Effect of Occupational Radiation Exposure on Thyroid Gland Hormones and Thyroid Gland Ultrasonographic Abnormalities. *Journal of clinical medicine*, 7(4), 72. <https://doi.org/10.3390/jcm7040072>
- Alba, J.R. (2011). *Efectos de la radiación ionizante sobre la glándula tiroides en pacientes con tumores de cabeza y cuello*. España: Universitat de València.
- Al-Mohammed, H.I.; Sulieman, A.; Mayhoub, F.H.; Salah, H.; Lagarde, C.; Alkhorayef, M.; Aldhebaib, A.; Kappas, C.; Bradley, D.A. (2021). Occupational exposure and radiobiological risk from thyroid radioiodine therapy in Saudi Arabia. *Scientific reports*, 11(1), 14557. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93342-1>
- Amaya, M., Arguello, P., Castillo, E. (2023). *Dosis de radiación absorbida por Endodoncistas con el uso de rayos x portátil y su efecto en la glándula tiroides*. Bogotá: Universidad Santo Tomás, División de Ciencias de la Salud.
- Andisco, D. (2014). Radioprotección/actualización en radiología. *Revista argentina de radiología*, 114-117
- Bahreyni, M.T.; Akbari, T.; Roodi, S. (2012). Radiation Exposure to Critical Organs in Panoramic Dental Examination. *Acta Medica Iranica*, 50(12), 809-813.
- Barba R., Sequeira, C.D., (2021). Update on Hand-Held X-Ray Devices in Dentistry: a literature review. *Odovtos, International Journal of Dental Sciences*, 24(2), 26–33. <https://doi.org/10.15517/ijds.2021.45846>.

- Barbero, J.G. (2015). *Patología y terapéutica dental: operatoria dental y endodoncia*. Editorial Elsevier.
- Barbieri, P. (2006). Actualización en radiología dental. Radiología convencional Vs. digital. *Revista V. Odonto Estomatología*, 22, 131-139
- Basrani, B. E. (2012). *Endodontic Radiology*. 2nd. En ed. John Wiley & Sons. Incorporated, Ames, Iowa.
- Berkhout, W.B. (2004). The dynamic range of digital radiographic systems: dose reduction or risk of overexposure. *Revista Dentomaxillofacial Radiology*, 44(1), 219-446
- Berkhout W. E. (2015). The ALARA-principle. Backgrounds and enforcement in dental practices. *Nederlands Tijdschrift Voor Tandheelkunde*, 122(5), 263–270. <https://doi.org/10.5177/ntvt.2015.5.14227>
- Brenner, D.J. (2009). Extrapolating radiation-induced cancer risks from low doses to very low doses. *Health physics*, 97(5), 505–509. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181ad7f04>
- Brenner, D.J., Doll, R., Goodhead, D.T., Hall, E.J., Land, C.E., Little, J.B., et al. (2003). Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(24), 13761–13766. <https://doi.org/10.1073/pnas.2235592100>
- Bushong, S. (2011). *Manual de Radiología para técnicos. Física, biología y protección radiológica*. Octava edición. Editorial Elsevier.
- Canalda, B. E. (2014). *Endodoncia: técnicas clínicas y bases científicas*. Editorial Elsevier.
- Cárdenas, C., Díaz, A., Reyes, L. (2016). *Cuantificación de radiación dispersa en ambientes contiguos durante el uso de equipos portátiles de radiología intraoral*. Bogotá:

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

Cheng, F.C.; Lee, M.C.; Chen, M.H.; Ting, C.Y.; Su, C.P.; Liu, S.Y.; Chiang, C.P. (2022).

Occupational radiation exposure for various medical radiation workers, especially the dental radiation workers, in Taiwan from 2013 to 2020. *Journal of Dental Sciences*, 17, 1544-1552.

Cioffi, D.L.; Fontana, L.; Leso, V.; Dolce, P.; Vitale, R.; Vetrani, I.; Galdi, A.; Iavicoli, I. (2020).

Low dose ionizing radiation exposure and risk of thyroid functional alterations in healthcare workers. *European journal of radiology*, 132, 109279. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109279>

Council., N. R. (2006). *Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation BEIR VII – Phase 2*. The National Academies Press.

Cullity, B.D. (1956). *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company Inc.

Drenth, J. (1999). *Principles of protein x-ray crystallography*. Publisher Springer New York.

El-Benhawy, S.A.; Fahmy, E.I.; Mahdy, S.M.; Khedr, G.H.; Sarhan, A.S.; Nafady, M.H.; Yousef

Selim, Y.A.; Salem, T.M.; Abu-Samra, N.; El Khadry, H.A. (2022). Assessment of thyroid gland hormones and ultrasonographic abnormalities in medical staff occupationally exposed to ionizing radiation. *BMC endocrine disorders*, 22(1), 287. <https://doi.org/10.1186/s12902-022-01196-z>

Gaytán, S.; Barragan, R.G.; Quiroz, J.; Rodríguez, C.L.; Sánchez, G. (2023). Exposición a radiación ionizante en médicos residentes de ortopedia en un hospital de referencia. *Cirugía y Cirujanos*, 91(1), 64-72.

Guo, Q.S.; Ruan, P.; Huang, W.X.; Huang, D.Z.; Qiu, J.C. (2021). Occupational Radiation Exposure and Changes in Thyroid Hormones in a Cohort of Chinese Medical Radiation Workers. *Biomedical and Environmental Sciences*, 34(4), 282-289

International Commission on Radiological Protection. (2007). *Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*. España: Sociedad Española de Protección Radiológica (traducción al español).
https://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf

Jayan, B., Krishnan, M., Saraswathy, S., Gupta, S., Agarwal, M., & Sahai, K. (2023). Multicentric evaluation of conventional dosimetry vs bio-dosimetry over a period of two years for a three-point contact. *Medical journal, Armed Forces India*, 79(4), 378–385.
<https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2021.03.008>

Jeggo, P. (2009). Risks from low dose/dose rate radiation: what an understanding of DNA damage response mechanisms can tell us. *Health physics*, 97(5), 416–425.
<https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181aff9c8>

Kellerer, A. (2000). Risk estimates for radiation-induced cancer-the epidemiological evidence. *Radiation and environmental biophysics*, 39(1), 17–24.
<https://doi.org/10.1007/pl00007679>

Lee, W.Y. (2018). Projected lifetime cancer risks from occupational radiation exposure among diagnostic medical radiation workers in South Korea. *Revista BMC Cancer*. 18(1), 2-10

Lehmann, T.M.; Troeltsch, E.; Spitzer, K. (2002). Image processing and enhancement provided by commercial dental software programs. *Dento maxillo facial radiology*, 31(4), 264-272.
<https://doi.org/10.1038/sj.dmfr.4600707>

Luna-Sánchez, S.; Del Campo, M.T.; Morán, J.V.; Fernández, I.M.; Checa, F.J.S.; de la Hoz, R.E.

(2019). Thyroid Function in Health Care Workers Exposed to Ionizing Radiation. *Health physics*, 117(4), 403–407. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001071>

Memon, A.; Godward, S.; Williams, D.; Siddique, I.; Al-Saleh, K. (2010). Dental x-rays and the

risk of thyroid cancer: a case-control study. *Acta oncológica (Stockholm, Sweden)*, 49(4), 447–453. <https://doi.org/10.3109/02841861003705778>

Miller R.W. (1995). Delayed effects of external radiation exposure: a brief history. *Radiation research*, 144(2), 160–169.

Lee, W.Y. (2018). Projected lifetime cancer risks from occupational radiation exposure among diagnostic medical radiation workers in South Korea. *Revista BMC Cancer*. 18(1), 2-10

Luna, S.; Del Campo, M.T.; Morán, J.V.; Fernández, I.M.; Checa, F.J.S.; de la Hoz, R.E. (2019).

Thyroid Function in Health Care Workers Exposed to Ionizing Radiation. *Health physics*, 117(4), 403–407. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001071>

Parikh, J.R.; Geise, R.A.; Bluth, E.I.; Bender, C.E.; Sze, G.; Jones, A.K.; Human Resources

Commission of the American College of Radiology (2017, Epub 2016). Potential Radiation-Related Effects on Radiologists. *AJR. American journal of roentgenology*, 208(3), 595–602. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.17212>

Rasha, A.; Yosra, A. (2022). Relation between Occupational Exposure to Radiation and Thyroid

Disorder among Technicians in Radiology Departments at Some Public Hospitals, Eastern Province, KSA. *Reports in Thyroid Research*, 6, 16.

- Santiago, L.F. (2020). Fisiología de la glándula tiroides. Disfunción y parámetros funcionales de laboratorio en patología de tiroides. *Revista ORL*, 11(3), 253-257.
<https://dx.doi.org/10.14201/orl.21514>
- Segura, W.; Téllez, D. (2009). Riesgo de desarrollar cáncer de tiroides en radiólogos y tecnólogos de radiología con exposición ocupacional a radiación ionizante. *Revista Médica Sanitas*, 12(2), 42-48.
- Smith, R. T. (2019). Evaluation of stray radiation to the operator for five hand-held dental X-ray devices. *dentomaxilofacialradio*, 42-48
- Stelt, P. (2005). Filmless imaging: The uses of digital radiography in dental practice. 136(10), 1379-1387. *Revista Elsevier*, 136(10), 1379-1387.
- Tenera, J.H. (2020). *Mirada comparativa de los servicios odontológicos en Colombia y otros países, en el marco de la Pandemia por el SarsCov2*. Medellín: Universidad de Antioquia.
<https://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/eefc010f-bf30-4bd5-a4e0-b0b735bd215c/2020.+Tenera+Jairo+Hern%C3%A1n.+Servicios+de+Salud+Oral+y+postpandemia.pdf?MOD=AJPERES&CVID=ngDJtDD>
- Tirado, L.R., González, F.D., Sir-Mendoza, F.J. (2015). Uso controlado de los rayos X en la práctica odontológica. *Revista Ciencia y Salud*, 13(1), 99-112. doi:
[dx.doi.org/10.12804/revsalud13.01.2015.08](https://doi.org/10.12804/revsalud13.01.2015.08)
- United Nations. (2000). *Sources and effects of ionizing radiation*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Report_Vol.I.pdf

- Vergero, P. (2008). *Experimentos con rayos que hicieron historia*. Instituto de investigaciones fisicoquimicas teoricas aplicadas: Museo de Fisica de la Universidad Nacional de La Plata. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://museo.fisica.unlp.edu.ar/frontend/media/47/10647/7a2b852ec81115f27da1888e52d68b9f.pdf
- White, S.C.; Mallya, S.M. (2012). Update on the biological effects of ionizing radiation, relative dose factors and radiation hygiene. *Australian Dental Journal*, 57 Suppl 1, 2–8. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2011.01665.x>
- Zapata F. (2021). Handheld dental radiographic equipment: review of literature. *Revista Av Odontoestomatología*, 37(4), 161-165

Apéndices

Apéndice A. *Consentimiento informado*

DOSIS DE RADIACIÓN ABSORBIDA POR ENDODONCISTAS CON EL USO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DE RAYOS X Y SU EFECTO EN LA GLÁNDULA TIROIDES, ACTUALIZACIÓN 2024

Investigador Principal: Liz Vanet Castro Cruz, Gilmar Heredia Ceballos

Objetivo del Estudio: Determinar la dosis de radiación absorbida y describir los posibles cambios de la glándula tiroides a través de la evaluación de un perfil funcional de la glándula en los endodoncistas expuestos al uso continuo de equipos de rayos X portátiles junto con los dispositivos de captura digital de imágenes durante tres meses de exposición.

Procedimientos: Como participante en este estudio, se le pedirá que:

1. Se someta a la toma de muestras de sangre para medir los niveles de TSH, T4L y T3, al inicio y al final del estudio.
2. Complete encuestas sobre el uso de rayos X portátil durante un período de 3 meses.

Riesgos y Beneficios: Riesgos. Los riesgos asociados con la toma de muestras de sangre son mínimos y pueden incluir molestias o dolor temporales en el lugar de la punción. **Beneficios.** Los resultados de este estudio pueden contribuir al conocimiento científico y mejorar la comprensión del uso de rayos x portátiles.

Confidencialidad: Toda la información recopilada se mantendrá confidencial. Su identidad será protegida y solo se utilizarán datos anonimizados para los análisis.

Voluntariedad: Su participación en este estudio es completamente voluntaria. Puede retirarse en cualquier momento sin penalización.

Consentimiento para la Toma de Muestras de Sangre: Entiendo que se me tomarán muestras de sangre para medir los niveles de TSH, T3 y T4L. Estoy de acuerdo en participar en esta parte del estudio.

Consentimiento para el Uso de Rayos X Portátil: Entiendo que se me pedirá que complete encuestas sobre mi uso de rayos X portátil durante 3 meses. Estoy de acuerdo en participar en esta parte del estudio.

Contacto: Si tiene alguna pregunta sobre este estudio, puede comunicarse con Liz Vanet Castro Celular: 3145868534

Firma del Participante: _____ Fecha: _____

Al firmar este formulario, usted confirma que ha leído y comprendido la información proporcionada y que está de acuerdo en participar en el estudio según los términos descritos.

Apéndice B Encuesta - Cuestionario

Nombre completo: _____

Edad: _____ Sexo: _____

¿Desde hace cuánto tiempo ha utilizado el equipo de rayos X portátiles?

1. Resultado pruebas de laboratorio

PRUEBAS	Octubre 2023	Diciembre 2023		OBSERVACIONES
THS				
T3				
T4L				

2. Seguimiento de uso de frecuencia del equipo

2.1 En el siguiente cuadro por favor indique cuántos pacientes atendió hoy y cuentas radiografías se le tomó a cada paciente.

MES/DIA

1. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	2. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	3. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	4. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	5. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____
6. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	7. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	8. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	9. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	10. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____
11. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	12. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	13. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	14. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	15. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____
16. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	17. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	18. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	19. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	20. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____
21. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	22. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	23. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	24. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	25. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____
26. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	27. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	28. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	29. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____	30. -Pacientes: ____ -Número de tomas por paciente: ____

TOTAL	
--------------	--

3. Resultados de lectura de dosímetro

	3 meses de uso	6 meses de uso	9 meses de uso	12 meses de uso	15 meses de uso	18 meses de uso
Resultado						